





ANNALES
DES MINES.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

Les Annales des Mines sont publiées sous les auspices de l'administration générale des Ponts et Chaussées et des Mines, et sous la direction d'une commission spéciale formée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée, ainsi qu'il suit, des membres du conseil général des mines, du directeur et des professeurs de l'École des mines, et d'un ingénieur, adjoint au membre remplissant les fonctions de secrétaire :

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des Annales des Mines pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les Annales des Mines doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics, à M. le secrétaire de la commission des* Annales des Mines, rue du Dragon, n° 30, à Paris.

Avis de l'Éditeur.

Les auteurs reçoivent *gratis* 15 exemplaires de leurs articles formant au moins une feuille d'impression. Ils peuvent faire faire des tirages à part à raison de 9 fr. par feuille jusqu'à 50, 10 fr. de 50 à 100, et 5 fr. pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des Annales des Mines a lieu par cahiers ou livraisons qui paraissent tous les deux mois. — Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. — Les deux volumes consacrés aux matières scientifiques et techniques contiennent de 70 à 80 feuilles d'impression, et de 18 à 24 planches gravées. — Le prix de la souscription est de 20 fr. par an pour Paris, de 24 fr. pour les départements, et de 28 fr. pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMÉ PAR E. THUNOT ET Ce, RUE RACINE, 26.

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT;

RÉDIGÉES

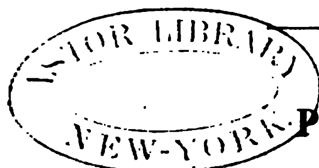
Par les Ingénieurs des Mines,

ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

CINQUIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME XVI.



PARIS.

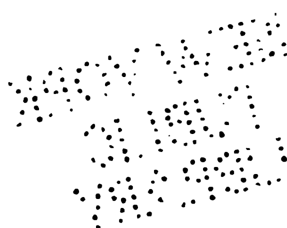
DUNOD, ÉDITEUR, SUCCESSEUR DE Vve DALMONT,

Précédemment Carilian-Gœury et Vor Dalmont,

LIBRAIRE DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, 49.

1859



ANNALES

DES MINES.

DU PLATINE

ET DES MÉTAUX QUI L'ACCOMPAGNENT.

Par MM. H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE et H. DEBRAY.

La métallurgie du platine est un art tout moderne, l'introduction du platine dans les laboratoires de la science et de l'industrie date de quelques années. Aussi tout ce qui se rattache à la métallurgie de ce métal et de ses congénères est en général peu connu, quoique méritant d'une façon toute particulière l'attention des savants. L'intérêt personnel du chimiste y est engagé : car c'est lui qui emploie principalement le platine, et c'est à ce métal qu'il doit, en outre de quelques expériences capitales, les moyens d'opérer avec sécurité et promptitude dans la plupart des analyses. Jusqu'ici, en effet, le platine n'a reçu, en dehors des usages chimiques, aucune application de quelque importance. Le minerai de platine, quand on saura mieux le chercher ou quand on voudra exploiter largement les gîtes connus, ne sera peut-être pas plus rare que l'or, et comme le platine est à peu près indestructible et que sa valeur considérable le protége contre les pertes et accidents

de toute sorte, il finira par s'accumuler dans le commerce et deviendra de plus en plus commun. Peut-être alors pourra-t-il entrer dans les usages de la vie partout où sa densité considérable et sa couleur un peu terne ne seront pas un obstacle, partout où son inaltérabilité absolue aura une certaine importance. Toutes ces questions dépendent, pour leur solution, du prix auquel pourra se livrer le métal, et les chimistes sont intéressés à le voir baisser à ce point que les grands vases de nos laboratoires puissent être faits en platine.

Objet de ce travail.

C'est dans l'espoir de faciliter un progrès de ce genre que nous avons entrepris les recherches pénibles dont nous allons donner les résultats dans ce mémoire, qui nous a coûté plus de quatre années de travail. Si nous réussissons, nous sommes sûrs de trouver une récompense très-douce dans les bons sentiments de nos confrères dont nous aurons facilité les études, nos méthodes permettant de diminuer dans l'avenir le prix de revient de notre précieux métal. Jusqu'à nos premières communications (1) on n'avait pas songé à utiliser tous les métaux qui accompagnent le platine dans sa mine, et, à l'exception du palladium et de l'osmium qu'on aura toujours intérêt à en séparer, le platine a été extrait du minerai en laissant un résidu qui s'est accumulé dans presque toutes les fabriques, qui sont en très-petit nombre, et à la monnaie de Russie. Nous ferons voir que le rhodium et l'iridium, qui entrent pour une forte part dans ces résidus, sont très-propres à donner de la qualité au platine. Par conséquent, en trouvant un moyen facile et économique d'extraire du minerai de platine toutes les substances utilisables sous

(1) Voyez *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XLIV, p. 1101.

la forme d'un alliage de platine, de rhodium et d'iridium, on rendait un service important à la métallurgie du platine. C'est ce que nous avons fait par une méthode qui sera décrite avec détail dans ce mémoire.

Essais et analyses.

Mais, pour opérer avec sécurité le traitement du minerai brut de platine, il fallait en connaître la composition exacte. On trouvera dans l'un des chapitres de ce mémoire l'analyse de tous les minerais connus de platine dont nous avons pu nous procurer des échantillons, et en même temps une méthode d'essai par voie sèche et des procédés nouveaux d'analyse permettant d'opérer avec sécurité et promptitude.

Alliages de rhodium et d'iridium.

En même temps nous avons étudié les propriétés physiques principales des alliages qu'on obtient en incorporant dans des minerais de platine très-pur une certaine quantité de résidus de platine riches, soit en iridium, soit en rhodium, faisant ainsi des alliages triples, intéressants au point de vue de leurs applications. Pour bien savoir comment on doit opérer ces mélanges, il fallait connaître : 1° la composition des résidus de platine; 2° la composition des osmiures d'iridium de toutes les qualités dont nous avons pu nous procurer des échantillons. On trouvera dans ce mémoire un chapitre relatif à la solution de cette double question et les méthodes par voie sèche pour l'essai rapide des résidus et des osmiures, des méthodes par voie humide pour analyser avec précision les osmiures d'iridium.

Métallurgie nouvelle du platine.

Les procédés généraux de la métallurgie nouvelle du platine que nous proposons sont exclusivement des procédés par la voie sèche et des méthodes de fusion (1) à

(1) Dans l'intérêt même de la réussite de nos procédés, il a été pris au profit de la Société de l'aluminium de Nanterre des brevets sur la fabrication du platine par les méthodes qui vont

très-haute température; ils seront décrits successivement dans divers chapitres où seront traités : la révivification du platine pur, la métallurgie du platine pur, l'extraction du minerai brut d'un alliage triple de platine, de rhodium et d'iridium d'une composition convenable et constante; l'extraction soit des résidus, soit de l'osmiure d'iridium des métaux utilisables qu'ils contiennent: platine, palladium, iridium et rhodium.

Propriétés physiques des métaux du platine.

Nous avons pu, en opérant ainsi par des méthodes entièrement nouvelles et à des températures qui n'ont été obtenues jusqu'ici que sur des points relativement restreints, faire une étude particulière des propriétés des métaux du platine à des états encore peu connus. Ce sont ces propriétés que nous étudierons dans les premiers chapitres qui composeront la partie théorique de ce mémoire; le reste étant consacré, comme nous l'avons déjà dit, aux analyses et à la métallurgie, en formera la partie technique.

Nous devons au général de Gerngross, au général Samarski, chef du corps des mines en Russie, à M. le conseiller d'État Jacobi, à M. Kockscharow, de l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg, et à M. le colonel de Rachette, la plupart des échantillons sur lesquels nous avons opéré pendant le cours de ce travail. C'était pour nous une difficulté toute particulière de nous procurer ainsi les éléments de nos recherches, qu'on ne trouve plus dans le commerce et que la monnaie de Russie possède seule. Que ces messieurs veuillent bien recevoir ici l'expression de toute notre reconnaissance.

être décrites. La Société de l'aluminium a cédé ces brevets en France à MM. Desmoutis, Chapuis et Quenessen, en Angleterre à M. Matthey. Aujourd'hui ces procédés fonctionnent et vont se perfectionner chaque jour entre les mains des habiles fabricants à qui ils ont été confiés.

Nous devons également à MM. Desmoutis et Chapuis, à M. Quenessen et à M. Savard, de Paris, et à M. Matthey, de Londres, un grand nombre d'échantillons de résidus de toute sorte de leurs usines, ce qui nous a permis de rendre aussi complets que possible les documents analytiques relatifs à ces matières intéressantes.

Enfin nous mentionnerons avec plaisir l'aide intelligente que nous a fournie, dans une partie de ce long travail, un jeune chimiste très-habile, M. Hautefeuille, à qui nous sommes très-heureux d'adresser nos remerciments.

CHAPITRE Ier.

DE QUELQUES PROPRIÉTÉS DES MÉTAUX DU PLATINE.

La famille des métaux du platine a un caractère particulier qui l'isole complétement des autres familles plus ou moins naturelles que l'on a formées avec les autres métaux. Il serait bon, selon nous, qu'on laissât toutes les espèces qui la composent dans un seul groupe qui n'admettrait qu'eux et qui les contiendrait tous. Il est vrai que ces métaux ne sont pas tous analogues en tout point; mais ils ont des caractères spécifiques, une physionomie commune qui empêchera toujours de les séparer dans leur étude, quand même au point de vue d'une classification très-rationnelle on les aurait disséminés dans les diverses familles des corps simples. Groupe du platine.

Ces métaux ne se trouvent jamais séparés les uns des autres, excepté et très-rarement le palladium : aussi le palladium est-il parmi eux celui qui se rapproche le plus des autres métaux. Plus ou moins altérables sous l'influence de l'oxygène et du chlore, ils se rapprochent tous par la facilité avec laquelle ils cèdent aux réducteurs les éléments auxquels ils sont combinés. Leurs affinités Analogies de ces métaux.

principales se manifestent avec les corps halogènes, tels que le chlore, le brome, l'iode et le cyanogène, et ils donnent tous naissance à ces combinaisons caractéristiques de la série des métaux du platine, dans lesquels le sel ammoniac ou le chlorure de potassium s'est uni à un chlorure métallique pour former un sel ordinairement peu soluble dans un excès de sel ammoniacal, si le degré de chloruration du métal est suffisamment avancé.

Tous ces corps possèdent en outre cette curieuse faculté de déterminer par leur simple contact un grand nombre de réactions chimiques, cette action catalytique, comme l'a appelée Berzélius, dont on s'est servi pour réaliser des expériences de la plus haute importance. On ne doit pas croire que les phénomènes de ce genre puissent être exclusivement attribués à l'état de porosité de ces métaux que l'on ne connaît encore qu'à l'état de mousse. Le platine fondu et travaillé au marteau est sous ce rapport aussi actif que le platine obtenu par l'agrégation de sa mousse.

eurs rences.

Les différences entre tous ces corps sont également remarquables. Ainsi l'osmium, qui brûle à l'air pour donner de l'acide osmique en vapeur, a été comparé à l'arsenic par Berzélius; tout récemment M. Dumas penche à le ranger à côté du tellure. Mais à coup sûr c'est un métalloïde, le métalloïde de la série du platine.

Le ruthénium, que nous connaissons depuis peu par les beaux travaux de M. Claus, et dont M. Fremy a observé récemment l'oxyde à l'état cristallisé, se rapproche de l'étain par les propriétés chimiques et la forme même de cet oxyde, qui est un prisme à base carrée identique au prisme de l'étain oxydé.

Nous ferons voir que le palladium est analogue à l'argent par un grand nombre de caractères: sa volatilité,

son oxydabilité à une température convenablement élevée, ce qui le rapproche aussi du mercure, son action sur l'acide iodhydrique, etc.; mais l'énergie basique de l'oxyde d'argent ne se rencontre dans aucun des oxydes du palladium.

Le rhodium est un métal qui n'est comparable à aucun autre; placé près de l'argent à cause de son oxydabilité à chaud, des propriétés basiques de son oxyde principal, de l'action remarquable qu'exercent sur lui l'acide sulfurique ou plutôt le bisulfate de potasse; près de l'or pour les réactions de ses chlorures, il est difficile d'en faire un métal moins noble que l'or, à cause de sa résistance à l'action de l'eau régale.

Le platine représente dans toutes ses propriétés le corps véritablement analogue à l'or, et toutes les fois qu'on n'a pas réuni entre eux les métaux du platine, c'est près de l'or qu'on a toujours rangé le platine.

Les métaux ordinaires ne présentent que peu d'analogies avec l'iridium, qui leur est supérieur à tous par sa résistance à la plupart de nos réactifs les plus énergiques; et certainement, si les propriétés physiques de l'iridium étaient en rapport avec ses propriétés chimiques, l'iridium serait plus que l'or le roi des métaux.

Toutes ces considérations nous font proposer de constituer avec les métaux du platine un groupe dont chaque espèce aura son analogue parmi les métaux ordinaires; et cette famille sera aussi naturelle que l'est, parmi les mammifères, la famille des marsupiaux, composée avec des insectivores, des rongeurs, des carnassiers, etc., et que leur physionomie commune, des caractères suffisamment importants, empêchent de répartir dans les séries de mammifères si bien ordonnées par Cuvier.

Mais avant d'examiner successivement les métaux

du platine que nous avons étudiés, qu'il nous soit permis de remarquer combien on a laissé incomplète l'histoire des propriétés physiques de certains corps simples et en particulier des métaux du platine, à ce point que pour celle qui semble la plus facile à déterminer, la densité, on ne trouve en général dans les traités de chimie que des indications discordantes. Berzélius, opérant sur les petites quantités de matière qu'il avait à sa disposition, se contentait de découvrir les corps simples, leurs réactions importantes, leurs équivalents, et, après ces magnifiques travaux que tout le monde connaît, il semblait dédaigner le radical qu'il avait isolé, et en général il ne le soumettait qu'à l'action des réactifs, négligeant d'étudier sa forme et les modifications qu'il pouvait recevoir des agents physiques. Nous ne voudrions pas laisser croire cependant que nous critiquons en quoi que ce soit la méthode de Berzélius, et les résultats qu'elle a produits, surtout en ce qui concerne les métaux du platine. Depuis que nous avons nous-mêmes pris une connaissance complète de ses travaux à ce sujet, nous avouerons qu'il a laissé bien peu de chose à faire dans la voie qu'il avait tracée. Ceux qui voudront se donner la peine de lire avec attention tout ce qui concerne cette question dans le *Traité de chimie* de Berzélius (1), verront qu'il n'a laissé

---

(1) Berzélius (voyez la première édition française, t. IV, p. 456 et 457, 1831) donne le mode de préparation de ruthénium par l'un des procédés recommandés par M. Claus; il trouve le sel *rose*, Ru^2Cl^3, 2ClK, caractéristique du ruthénium, et la composition du chlorure, Ru^2Cl^3, en mentionne l'analogie et les différences avec le chlorure de rhodium auquel il le compare, conclut que ce n'est pas du rhodium de sa résistance au bisulfate de potasse, et admet seulement que c'est un chlorure *sus-iridique*, parce que « quand on chauffe le métal qu'on » en extrait par l'hydrogène dans du gaz chlore avec du chlo- » rure potassique, il ne donne que du chlorure iridico-potas-

à M. Claus l'insigne honneur de découvrir le ruthénium que parce qu'il a opéré sur des quantités de matière insuffisantes. Après Berzélius et M. Wöhler, après MM. Claus, Fremy, Fritzsche et encore d'autres habiles chimistes, qui ont étudié le platine et les métaux du platine par les procédés ordinaires de la voie humide, il ne nous restait, pour obtenir quelques faits nouveaux, d'autre ressource que de changer complétement de méthode : c'est ce que nous avons fait, et nous allons donner les résultats auxquels nous sommes arrivés.

§ I. — *Osmium.*

L'osmium a été préparé jusqu'ici sous un état tel, que l'histoire de ses propriétés physiques est aussi incomplète que si l'on ne connaissait le fer qu'à l'état de fer pyrophorique, ou le silicium et le bore qu'à l'état de matières amorphes et éminemment combustibles. Nous avons considéré l'osmium comme un métalloïde; et, en effet, comme un certain nombre de métalloïdes, l'osmium a la propriété de changer entièrement de propriétés chimiques et physiques suivant la manière dont il a été préparé. L'osmium ordinaire, préparé par les procédés de Berzélius, est une masse spongieuse à demi métallique, exhalant une odeur très-forte d'acide osmique, ce qui indique une altération sensible par l'oxygène à la température ordinaire. Sa densité est égale à 7. Si on l'obtient en réduisant un mélange de vapeur d'acide osmique et d'hydrogène, comme l'a fait Berzélius, il est métallique et prend une densité de 10 environ. Divers états de l'osmium.

» sique ordinaire, en sorte qu'il est impossible d'attribuer son
» existence à la présence d'un *métal étranger* mêlé à l'iridium.
» En outre, l'osmium est susceptible de former des sels roses
» analogues. »

Osmium pulvérulent.

Mais l'osmium paraît avec des caractères tout à fait différents si on le prépare de la manière suivante. On prend de l'osmiure d'iridium fin et passé au tamis de soie : si l'on n'en a pas qui soit naturellement pulvérulent, on le divise chimiquement par un procédé qui sera décrit un peu plus loin (page 24), à l'article consacré au ruthénium. On mélange 1 partie d'osmiure divisé avec 5 fois 1/2 son poids de bioxyde de barium (1), qu'on a soin de peser avec le plus grand soin, afin de pouvoir le précipiter entièrement plus tard par un poids connu d'acide sulfurique. Ce mélange, rendu aussi intime que possible par un broyage prolongé dans un mortier de porcelaine, est chauffé pendant une ou deux heures, à la température de fusion de l'argent, dans un creuset de terre, que l'on ferme aussi bien que possible avec un couvercle convenablement adapté et un peu de terre à poêle. Après l'expérience on trouve une matière noire, homogène, que l'on divise grossièrement et que l'on introduit dans une cornue de verre (bouchée à l'émeri si c'est possible). On y verse d'abord un peu d'eau, puis 8 parties d'acide muriatique et 1 partie d'acide nitrique ordinaires, on agite et on distille, en ayant bien soin de refroidir le récipient avec le plus grand soin, pour éviter la perte des vapeurs osmiques. L'opération est terminée quand la vapeur prise à la tubulure de la cornue ne possède plus l'odeur caractéristique de l'acide osmique. Le liquide contenu dans le récipient est alors distillé une seconde fois, et le produit peut alors être recueilli dans de l'ammoniaque diluée que l'on a soin d'introduire dans le ballon tubulé où se rendra le produit

(1) Ou avec trois parties de baryte et une de nitrate de baryte.

de la seconde distillation. L'osmiate d'ammoniaque est sursaturé par de l'hydrogène sulfuré, et la liqueur contenant le sulfure d'osmium portée longtemps à l'ébullition, puis filtrée. Il ne faut pas sécher le filtre à une température trop élevée, sans quoi le sulfure d'osmium prend feu, et la matière disparaît presque complétement en se transformant en acide osmique et acide sulfureux. Le sulfure est introduit dans un creuset en charbon de cornues bien lisse à l'intérieur et muni d'un couvercle qui le recouvre à frottement et que l'on enferme lui-même dans un creuset de terre réfractaire: entre les deux creusets on verse du sable, on ferme le creuset de terre avec un bon couvercle, et l'on chauffe pendant quatre à cinq heures à la température de fusion du nickel (1). Le sulfure d'osmium est réductible par la chaleur et laisse un métal brillant, d'une couleur bleue plus claire que la couleur du zinc, en petits fragments qui se divisent avec une très-grande facilité. Si on veut l'avoir encore plus métallique et plus dense, on peut le chauffer à la température de fusion du rhodium, dans un appareil que nous décrirons bientôt. Alors sa densité est égale à 21,3. Quelquefois on obtient 21,4. C'est-à-dire qu'elle est égale et même un peu supérieure à la densité du platine.

Cet osmium est sans odeur, on peut le chauffer à la température de la fusion du zinc sans qu'il répande de

---

(1) On se sert à l'École normale, comme combustible destiné à produire ces hautes températures, de débris de charbons de cornues à gaz qui sont trop durs pour pouvoir être taillés et servir à fabriquer des éléments de pile. Ces charbons, qui ne laissent pas de cendre, respectent les creusets, ramollissant ceux qui sont de mauvaise qualité, mais ne détruisant pas leurs parois comme le fait la scorie de coke ordinaire. Ils s'allument difficilement, mais ils brûlent avec une énergie extraordinaire.

vapeurs d'acide osmique. Mais à une température plus élevée il s'oxyde lentement.

Osmium cristallisé. Quand on dissout l'osmium dans l'étain, en le chauffant au rouge vif avec sept à huit fois son poids d'étain, dans un creuset de charbon, en laissant refroidir lentement la masse métallique, l'osmium s'en sépare au moment du refroidissement, comme le bore et le silicium se séparent de l'aluminium ou du zinc, c'est-à-dire en cristallisant. Il suffit alors de dissoudre l'étain dans l'acide muriatique pour obtenir une poudre cristalline très-dure, qui ne retient pas d'étain, sans que l'acide dissolve sensiblement d'osmium.

On a pris en effet :

	I.	II.
Osmium.	4g,00	4g,50

On l'a mélangé avec :

Étain.	24g,00	24g,00

Après dissolution on a retrouvé :

Osmium cristallisé.	3g,96	4g,60

Les cristaux d'osmium sont trop petits pour être mesurés. On voit sur quelques-uns, au microscope, deux genres de faces très-nettes, des rhombes et des carrés placés de telle manière, les uns relativement aux autres, qu'on peut supposer que les cristaux sont des dodécaèdres rhomboïdaux avec les faces du cube.

Osmium compacte. On peut faire un alliage du même genre avec le zinc, mais l'osmium s'en sépare à l'état amorphe, ou plutôt l'alliage n'est pas défait par le refroidissement du métal ; car, si l'on dissout le zinc dans l'acide muriatique, il reste une poudre amorphe, d'une très-grande combustibilité, qui est de l'osmium pur, et l'acide ne dissout pas une quantité sensible d'osmium.

On a pris en effet :

Osmium.	8g,50

On l'a mélangé à :

Zinc. . . . . 50^g,00

Après dissolution on a retrouvé :

Osmium. . . . . 8^g,60

Mais si, au lieu de dissoudre cet alliage, on en chasse le zinc par l'application d'une chaleur très-élevée, et qu'enfin on le soumette, dans un creuset de charbon, à la chaleur développée dans un fourneau à gaz tonnants, tel qu'on va le décrire quelques lignes plus bas, et capable de liquéfier le rhodium, on trouvera de l'osmium complétement métallique avec un éclat et un ton bleuâtres caractéristiques de ce métal. Ce métal, très-condensé sans doute, n'a cependant pas fondu : car il est plein de cavités irrégulières qui se seraient arrondies même par le simple effet d'un ramollissement. Ces cavités diminuent la densité de la matière, parce qu'elles ne se remplissent pas d'eau, n'étant pas toujours en communication avec l'extérieur.

Cet osmium possède alors une grande dureté ; car il raye facilement le verre.

La matière ne contient plus de zinc, lors même qu'elle n'a été chauffée qu'à la chaleur de fusion de la fonte. En effet on a pris :

Osmium. . . . . 4^g,35
Zinc. . . . . 25^g,00

On a trouvé après évaporation du zinc :

Osmium. . . . . 4^g,30

L'osmium a si peu de tendance à se combiner avec les métaux, qu'en chauffant de l'étain avec de l'osmiure d'iridium, et reprenant l'alliage par de l'acide muriatique, on a de l'osmium cristallisé en poudre fine et une combinaison cristallisée en cubes d'iridium et d'étain, dont il sera question plus loin.

Tentatives de fusion de l'osmium.

Nous avons essayé de fondre l'osmium à une température que nous estimons correspondre à la fusion du rhodium. Voici l'appareil dont nous nous sommes servis :

Appareil de fusion.

Il se compose d'un chalumeau EE'CC', d'un foyer ABD et d'un creuset GHI où l'on met l'osmium (Pl. I, *fig.* 10).

Le chalumeau est composé d'un cylindre EE, en cuivre, de 12 millimètres de diamètre, terminé à sa partie inférieure par un ajutage E'E' légèrement conique, de 40 millimètres de longueur, et qui est en platine. Un tube de cuivre CCC de 3 à 4 millimètres de diamètre intérieur et terminé par un *bout* de platine C' qui s'y ajuste à vis, pénètre dans le premier cylindre par sa partie supérieure et y est maintenu par une vis de pression P qui permet, quand elle est desserrée, de donner au bout C' la hauteur que l'on veut, par rapport à l'extrémité inférieure du cylindre EE E'E'.

Un robinet H *à grande section* est appliqué latéralement avec un ajutage très-large au cylindre E. Un robinet O termine l'extrémité coudée du tube C. C'est par le robinet H que l'on fera arriver, au moyen d'un tube de caoutchouc, l'hydrogène ou le gaz de l'éclairage servant de combustible, c'est par le robinet C que sera introduit l'oxygène destiné à le brûler. Le *bout* C' est percé d'un trou dont le diamètre varie de 2 à 3 millimètres suivant les dimensions de l'appareil que l'on veut construire. Celui qui nous sert le plus souvent a un diamètre de 2 millimètres environ.

Le four ABD est composé de trois pièces qui sont toutes les trois en chaux vive bien cuite, légèrement hydraulique et juste assez compacte pour résister au travail du tour. On n'a aucun avantage à se servir de chaux très-dure sur laquelle l'outil ne *morde* pas avec une extrême facilité. L'espèce de chaux dont nous

nous servons est très-commune à Paris et provient de la calcination du calcaire grossier du terrain tertiaire. Un premier cylindre AA est percé d'un trou un peu conique qui laisse pénétrer à frottement l'extrémité inférieure du chalumeau, jusqu'à la moitié environ de son épaisseur, le *bout* C' n'arrivant lui-même qu'à une distance de 2 à 3 centimètres de l'ouverture inférieure de ce trou. Un second cylindre de chaux BB est percé d'un trou cylindrique beaucoup plus large que le premier et dont la dimension est telle, qu'il doit laisser entre ses parois et le creuset H une distance de 3 à 4 millimètres au plus. Sa hauteur est un peu plus grande que la hauteur du creuset. Un troisième cylindre D, sur lequel le second repose, est sillonné sur sa base supérieure par quatre rainures KK profondes et rectangulaires entre elles, qui donnent passage aux gaz de la combustion. Au centre de cette base supérieure et dans la substance même du cylindre on ménage un petit support D' sur lequel repose le creuset.

Le creuset lui-même est ainsi construit : une pièce cylindrique HH en chaux creusée dans la plus grande partie de son épaisseur pour recevoir un creuset I plus petit en charbon de cornues muni de son couvercle et dans lequel on introduit la matière à chauffer.

Le creuset de chaux est surmonté d'un cône circulaire G, dont le sommet doit être situé verticalement au-dessous du *bout* de platine C' à une distance de 2 à 3 centimètres, variant d'ailleurs avec la rapidité du courant de gaz. Ce cône G est ainsi fait afin de forcer la flamme qui vient du chalumeau à se répartir également autour du creuset H pour sortir ensuite par les ouvertures K.

Toutes les pièces cylindriques A, B, D doivent être

fortement cerclées avec des fils de fer très-doux et placés à petite distance les uns des autres, pour maintenir la chaux, qui se fissure toujours un peu pendant le chauffage.

Pour se servir de l'appareil, on ajuste d'abord les creusets (l'osmium ayant été introduit dans le petit creuset de charbon) sur la base D, puis on soulève la pièce A avec le chalumeau, dont on a ouvert le robinet H qui amène le gaz de l'éclairage ou l'hydrogène (1). On enflamme le gaz en C', puis on donne peu à peu l'oxygène en ouvrant le robinet O, de manière cependant à laisser dominer beaucoup le gaz combustible, puis, *introduisant* la flamme dans l'appareil, on met tout en place comme c'est indiqué dans la figure. Au moyen de la vis de pression horizontale P qu'on desserre, on donne à C' la position convenable, et on l'y maintient indéfiniment en serrant fortement la vis. On augmente alors peu à peu la vitesse du courant d'oxygène et du courant d'hydrogène jusqu'à ce qu'on ait la température maximum. On en juge directement en regardant par les fissures de l'appareil, puis en se réglant sur le bruit que produit le chalumeau. Ce bruit doit être aussi faible que possible lorsque les volumes des gaz sont en proportion convenable. Quand tout est bien réglé, au bout de huit minutes le creuset est porté jusqu'à son centre à la température de fusion du rhodium (2).

(1) Voir plus loin, à l'article *Fusion du platine*, la disposition des appareils et gazomètres destinés à fournir les gaz du chalumeau. L'oxygène doit avoir une pression de 3 à 4 centimètres de mercure dans ces gazomètres (p. 39 de ce mémoire).

(2) On ne peut prolonger indéfiniment à ces températures le contact de la chaux et du charbon sans voir les deux corps se détruire mutuellement par la formation de l'oxyde de carbone et du calcium dont la présence devient manifeste dans la

L'osmium sortant de cet appareil a un éclat métallique très-prononcé, avec une teinte bleuâtre, moins forte que lorsqu'il a été peu chauffé. Sa densité est de 21,4 et ses propriétés ont déjà été décrites. Mais il ne présente aucune trace de fusion. D'un autre côté, tout le temps que dure l'expérience on ne sent aucune odeur d'osmium dans la flamme, pourvu que le creuset soit resté intact. On peut donc dire qu'à la température de fusion du rhodium et en vases clos l'osmium est infusible et fixe. Infusibilité de l'osmium.

Mais il n'en est pas de même à une température supérieure, par exemple à la température à laquelle le ruthénium est en pleine fusion, ce qu'on ne peut obtenir qu'au moyen du chalumeau à mélange de gaz dont nous donnons la description quelques lignes plus bas. Quand on soumet l'osmium à l'action de cette flamme, qui doit, pour avoir son maximum d'effet, n'être ni oxydante ni réductrice, on voit qu'à un moment précis où la chaleur devient maximum, des quantités considérables d'osmium disparaissent avec une grande rapidité pour venir se déposer à l'état de *suie* sur un corps immédiatement voisin qu'on interpose près de la Volatilité de l'osmium.

flamme. Au point de contact du charbon et de la chaux, la chaux est désoxydée, elle répand l'odeur d'hydrogène, brûle même dans l'eau, quand on l'y plonge. Nous ne pouvons qu'indiquer ces phénomènes parmi ceux que nous étudions en ce moment avec l'appareil que nous venons de décrire et des tubes construits d'une manière analogue, et dans lesquels nous étudions un grand nombre de réactions chimiques à la température de fusion du rhodium. Il nous suffira d'annoncer que nous espérons dans de telles conditions réaliser un grand nombre de réductions réputées impossibles jusqu'ici, en particulier la réduction de la baryte par le charbon, le bore, etc. Nous désirons seulement ici prendre date pour ces expériences et nous réserver la possibilité de les continuer pendant le temps nécessaire à leur entier développement.

flamme. L'osmium peut bien brûler ; il brûle en effet ; mais il est un moment où pour l'opérateur il devient évident qu'il se volatilise. C'est une expérience d'un grand intérêt, que nous conseillons de répéter, mais en prenant des précautions extrêmes : l'un de nous, qui l'a faite deux fois, a été pendant près de vingt-quatre heures presque aveugle parce que le courant d'air qui devait le protéger contre les vapeurs abondantes d'acide osmique ayant changé de direction, l'a fait rebrousser sur lui d'une manière imprévue. On ressent alors dans les yeux la douleur que produit un coup vigoureusement asséné. L'osmium réduit à la surface de la conjonctive ne disparaît pas de suite et contribue, avec l'inflammation, à rendre la vue trouble. Nous concluons de ces expériences qu'à la température où l'iridium est en pleine fusion, où le platine lui-même se vaporise, l'osmium devient volatil. Mais même alors l'œil exercé qui suit attentivement le phénomène ne peut saisir, dans les morceaux d'osmium qui disparaissent rapidement, la moindre trace de fusion. Il faudrait chauffer l'osmium dans le vide et au moyen d'un arc voltaïque puissant pour résoudre cette question définitivement.

L'expérience nous a appris que la température maximum qu'on peut produire avec les gaz tonnants s'obtenait au moyen de ces gaz mélangés à l'avance, brûlant à l'extrémité d'un chalumeau et à une distance de 3 à 4 millimètres au plus de cette extrémité. Pour établir sans danger pour l'opérateur ces circonstances favorables, voici le petit instrument que nous avons fait construire.

Chalumeau à gaz tonnants. Les gaz obtenus directement ou contenus dans des gazomètres viennent se rendre séparément dans un appareil dont le volume intérieur est tellement petit, que

l'explosion des gaz tonnants y produit un bruit à peine sensible, de sorte que tout danger est écarté (1). Le gaz hydrogène arrive par le robinet H et, passant par une douille D, se répand dans un tube en caoutchouc dans l'intervalle H', d'où il se rend par une nouvelle douille E dans un tube recourbé O'E'B; là il se mêle à l'oxygène. Quant à celui-ci, il entre par le robinet O, passe par la douille D, qu'il traverse au moyen d'un tube de cuivre auquel s'adapte un tube étroit de caoutchouc O'O' contenu dans l'intérieur du tube H', et enfin passe par la douille E dans un tube de cuivre spécial qui s'ouvre lui-même en O''; là il se mêle à l'hydrogène. Le gaz tonnant s'allume en B à l'extrémité d'un gros *bout* de cuivre assez lourd pour refroidir convenablement les gaz. Avec un peu d'habitude, de la même main, on tient ce chalumeau par la douille D et on règle à volonté les deux robinets O et H (2).

Propriété catalytique de l'osmium.

MM. Thenard et Dulong avaient déjà trouvé pour l'osmium la faculté que l'on connaissait déjà pour le platine, de déterminer la combinaison des corps entre eux par le seul fait de son contact avec les matières réagissantes. Nous avons constaté cette propriété non-seulement pour l'osmium, mais encore pour les autres métaux du platine, chez lesquels elle existe à un point très-marqué.

Sulfure d'osmium décomposé par la chaleur.

La décomposition spontanée du sulfure d'osmium

(1) L'un de nous a rapporté de Londres, en 1856, un charmant instrument fabriqué par M. Ansell et qui nous a donné l'idée de notre appareil. Le chalumeau de M. Ansell plus compliqué, moins portatif, mais plus élégant que le nôtre, est merveilleusement propre aux démonstrations dans un amphithéâtre.

(2) On a une température maximum quand les deux gaz brûlent sans produire le moindre bruit. Avec un excès d'hydrogène la flamme *souffle*; avec un excès d'oxygène, elle *siffle*.

par la chaleur peut se démontrer par l'expérience même que nous avons relatée et dans laquelle nous préparons l'osmium au moyen du sulfure calciné dans un vase de charbon. Mais comme on pourrait croire que l'affinité du charbon pour le soufre a pu déterminer cette réduction, nous avons placé le sulfure dans un creuset de terre, enfermé lui-même dans un creuset de charbon qui n'exhale aucun gaz hydrogéné, comme pourrait le faire la brasque de charbon de bois, et qui empêche le grillage du sulfure. Dans de pareilles conditions la dissociation du sulfure d'osmium s'est effectuée avec une grande facilité. Cette observation est également applicable à l'or ainsi qu'aux autres métaux du platine, et on verra qu'elle a un grand intérêt pour nous, parce que nous fondons sur cette propriété curieuse une des méthodes de séparation employées pour l'analyse du minerai et des résidus de platine.

cide mique.

L'acide osmique se prépare très-facilement par le procédé de grillage indiqué par M. Fremy et qui réussit tantôt bien, tantôt mal, suivant la nature des osmiures. Quand les osmiures se grillent facilement, il faut employer cette méthode telle que l'a décrite son auteur. Sinon on rend toujours les osmiures très-faciles à oxyder en détruisant leur agrégation par le moyen suivant. On mêle les osmiures avec huit à dix fois leur poids de zinc, et on fait digérer le tout ensemble pendant quelques heures au rouge simple; quand la dissolution de l'osmiure dans le zinc est complète, on traite l'alliage par l'acide muriatique qui laisse une poudre tellement combustible, qu'elle dégage de l'acide osmique à la température ordinaire, et prend feu vers 400 degrés, en donnant de l'acide osmique et de l'oxyde de zinc. Il faut même, avant d'introduire cette poudre dans l'appareil de M. Fremy, la calciner au rouge

sombre pour en diminuer la combustibilité. Cette poudre est un mélange d'osmium très-divisé et d'un alliage d'iridium et de zinc dans lequel, par conséquent, les éléments primitifs de l'osmium sont entièrement séparés. Voici les résultats obtenus avec des osmiures très-riches en osmium.

De l'osmiure en lames traité par le zinc a donné un composé de :

Osmium et iridium........	82,6
Zinc allié à l'iridium.......	17,4
	100,0

Perte en osmium par le grillage....	30	p. 100
Acide osmique correspondant......	39,7	»

Des osmiures russes en grains qui ne donnent pas d'acide osmique par le grillage, en peuvent fournir 18 à 20 pour 100 de leur poids après qu'on les a désagrégés par le zinc. On s'est assuré d'ailleurs par les réactifs les plus délicats de l'osmium que les osmiures ainsi traités n'en conservent que des quantités insignifiantes.

Densité de l'acide osmique.

La formule de l'acide osmique OsO^4, qui joue réellement le rôle d'un acide, fait une sorte d'exception par sa composition parmi les acides connus; il était utile d'en déterminer la densité de vapeur, ce qui est d'ailleurs facile, l'acide osmique bouillant vers 100 degrés, étant d'un maniement très-facile et pouvant d'ailleurs s'obtenir avec la plus grande perfection à l'état de pureté.

Nous avons préparé l'acide osmique par le procédé indiqué par Berzélius, c'est-à-dire en grillant de l'osmium pur dans l'oxygène. On l'a introduit dans un ballon à long col plein d'air sec et pesé, on a étiré le col du ballon, coupé avec précaution les parties inutiles que l'on a remises sur la balance. Le ballon, intro-

duit dans un bain d'huile, a été porté à la température de 245°,2 (246 degrés, corrigé), on a obtenu, avec les éléments suivants :

Température de la balance	19°
Pression pendant l'opération	764mm,55
Température du baromètre	16°
Température du bain d'huile	245°,2
Excès de poids	1.453mg
Air restant	0
Volume du ballon	299cc
Poids du litre	11gr,48
Densité	8.89

La température de 246 degrés est assez éloignée du point d'ébullition de l'acide osmique pour que nous pussions nous en tenir à cette épreuve. Pourtant nous avons cru devoir recommencer l'opération à une température notablement plus élevée, pour vérifier que cet acide ne se trouve pas dans le cas de l'acide acétique, et pour nous mettre en garde contre la cause d'erreur signalée par M. Cahours.

Voici les nouveaux éléments :

Température de la balance	19°,5
Baromètre au moment de la tare	762°,5
Température du baromètre	17°,5
Baromètre au moment de la fermeture du ballon	762°,2
Température du baromètre	17°,5
Température du bain d'huile	285°,0
Température du bain d'huile corrigée	286°,0
Excès de poids	977mg,
Air restant	1cc,
Volume du ballon	220cc,
Poids du litre	11g,47,
Densité de vapeur	8,88

c'est-à-dire identique à la première détermination.

La densité calculée par la formule

$$131,5 \times 0,0692$$

donne le nombre 9, qui est, il est vrai, très-voisin de 8,9. Ces nombres prouvent que l'acide osmique, $OsO^4 = 131,5$, représente deux volumes de vapeurs, ce qui se remarque dans un grand nombre de matières volatiles de la chimie minérale.

Quoique les nombres 8,9 et 9 soient très-rapprochés, ils diffèrent d'une manière insolite, en ce sens que le chiffre déterminé par l'expérience est ordinairement plus fort que le chiffre théorique : il faut admettre ou qu'il y a une cause perturbatrice tout à fait particulière à l'acide osmique, de laquelle dépendrait cette différence et que nous aurions négligée, ce qui est fort possible, ou bien que l'équivalent de l'osmium doit être légèrement abaissé. Il n'y a eu d'ailleurs aucune cause d'erreur apparente, dans cette opération : aucune réduction de l'osmium, tout ce qui reste dans le ballon refroidi étant à l'état cristallisé ou gazeux.

Amalgame d'osmium. Une particularité remarquable s'observe au moment où l'on ouvre le ballon sur le mercure. Au contact de l'acide osmique, le mercure prend la propriété de mouiller le verre, et le ballon se trouve étamé avec une singulière perfection par l'osmium réduit ou plutôt par un amalgame de ce métal.

§ II. — *Ruthénium.*

Propriétés physiques. Le ruthénium est après l'osmium le métal le plus réfractaire que nous connaissions. Il faut le dard le plus vif pour en fondre de petites quantités ; et encore doit-on placer le métal à la distance de 2 ou de 3 millimètres de l'extrémité du chalumeau, au point où la température est maximum, sans quoi on ne réussit pas. Pendant cette opération il se forme de l'oxyde RuO^2, qui se volatilise en répandant une odeur qui rappelle l'odeur de l'acide osmique et donnant un enduit brun. Le

ruthénium sortant du feu d'oxydation est brun noirâtre à sa surface : il roche comme le platine et le rhodium; il est cassant et dur comme l'iridium.

Densité. La densité du ruthénium est, selon nous, la seule propriété qui caractérise bien nettement ce métal, les réactions colorées, quand il s'agit des métaux du platine où l'iridium peut les présenter toutes, ne suffisant plus. Le ruthénium, séparé du rhodium par l'insolubilité de son sel rose (Ru^2Cl^3, 2 Cl K), par sa solubilité dans le mélange fondu de nitre et de potasse, n'est distingué bien nettement de l'iridium (1) que par sa densité, qui est sensiblement la moitié de la densité de l'iridium. Le ruthénium fondu le plus pur que nous ayons obtenu pèse de 11 à 11,4 : il a été dissous un grand nombre de fois dans le nitre et la potasse, dans lesquels l'iridium devient insoluble quand le ruthénium domine beaucoup, ce qui explique ce mode de purification.

Préparation. Nous allons donner successivement les procédés très-divers au moyen desquels nous avons obtenu le ruthénium. On choisit des osmiures en lames que l'on pulvérise après les avoir alliés à quatre ou cinq fois leur poids de zinc qu'on chasse par la chaleur, en employant, comme nous l'avons déjà dit, un creuset de charbon convenablement protégé. Pour cela, on chauffe les matières mélangées, d'abord au rouge simple pendant une heure, puis pendant deux heures au rouge blanc, jusqu'à ce que toute vapeur de zinc ait entièrement

(1) L'iridium se dissout dans le nitre et la potasse en donnant une liqueur bleu foncé qui est due peut-être à l'oxyde sus-iridique de Berzélius. On remarquera que l'oxyde le mieux déterminé du ruthénium, RuO^2, a la même composition en centièmes que IrO^4 encore inconnu, et qui pourrait bien être la matière colorante du flux alcalin.

disparu de la flamme. On trouve dans le creuset une masse poreuse friable, pesant exactement autant que l'osmiure qu'on y a introduit. Sous le pilon, cette masse se met facilement en poudre, sauf une petite quantité de paillettes qu'on en sépare par le tamis de soie. On mélange avec un soin extrême 1 partie de cette matière finement pulvérisée avec 3 parties de bioxyde de barium et 1 partie de nitrate de baryte; on introduit la matière dans un creuset de terre qu'on chauffe au rouge (température un peu inférieure au point de fusion de l'argent) pendant une heure. On en retire après refroidissement une matière noire, friable, qu'on met en poudre avec le plus grand soin, et qu'on introduit dans un flacon à l'émeri, dans lequel on a mis préalablement 20 parties d'eau et 10 parties d'acide muriatique ordinaire. Le flacon est plongé dans de l'eau fraîche pour empêcher la température de s'élever par suite de la réaction qui va s'y établir. On y verse par petites portions l'osmio-iridiate de baryte qu'on vient de préparer. Il faut faire cette opération devant une bonne cheminée pour empêcher les petites quantités d'acide osmique entraînées par le chlore ou l'oxygène qui se dégagent, de se répandre avec ces gaz dans l'atmosphère du laboratoire. Quand toute réaction est terminée, on ajoute 1 partie d'acide nitrique, puis 2 parties d'acide sulfurique concentré ordinaire. On bouche le flacon, on le secoue fortement et on laisse déposer le sulfate de baryte. On décante, on lave par décantation et on distille toutes ces eaux réunies dans une cornue tubulée, de manière à recueillir le quart de leur volume d'un liquide très-riche en osmium, qu'on précipite aussitôt par l'ammoniaque et le sulfhydrate d'ammoniaque. La liqueur rouge restée dans la cornue est évaporée jusqu'à ne plus occuper qu'un petit volume.

On y met alors 2 à 3 parties de sel ammoniac en morceaux et quelques centimètres cubes d'acide nitrique. On évapore à sec à l'aide d'une température qui ne doit pas dépasser beaucoup 100 degrés. On trouve dans la capsule un précipité cristallin noir violacé, qu'on traite par une petite quantité d'eau à moitié saturée de sel ammoniac, et qu'on lave avec cette liqueur jusqu'à ce qu'elle cesse de se colorer. On introduit le sel noir (chloriridiate d'ammoniaque contenant du ruthénium) dans un creuset de porcelaine et on le calcine peu à peu, jusqu'à ce que la masse soit devenue bien rouge. Il est bon d'enfermer le creuset de porcelaine dans un creuset de terre et d'introduire entre les deux creusets quelques fragments de charbon. L'iridium mêlé de ruthénium ainsi obtenu est fondu dans un creuset d'argent avec deux fois son poids de nitre et une fois son poids de potasse monohydratée, au rouge sombre, pendant une heure ou une heure et demie. On reprend par l'eau froide et on filtre, au moyen d'un tampon d'amiante placé au fond d'un entonnoir, la liqueur jaune-orange qui constitue le ruthéniate de potasse. Cette liqueur est traitée par l'acide carbonique ou l'acide nitrique jusqu'à ce que quelques bulles d'acide carbonique, d'acide nitreux ou de bioxyde d'azote, se dégagent et que toute couleur jaune disparaisse; elle ne doit exhaler aucune odeur d'acide osmique. Elle laisse déposer un précipité qui est de l'oxyde de ruthénium souillé par un peu de silice. On calcine fortement cet oxyde dans un creuset de charbon de cornues (1) et on le fond avec de grandes précautions, au moyen du petit chalumeau à gaz ton-

(1) Quand le ruthénium contient de l'oxyde de chrome, celui-ci se transforme dans le creuset en carbure de chrome brillant et bien cristallisé.

nants, déjà décrit, et dans une petite coupe creusée dans un morceau de chaux. Si le ruthénium contient de l'osmium, du chrome ou de la silice, ces impuretés se dégageront en vapeurs ou entreront en combinaison avec la chaux.

Voici le détail d'une opération de ce genre :

	gr.
Osmiure de Colombie en paillettes.	34,10
On l'a mélangé avec zinc.	150,00
Il reste après volatilisation : osmium désagrégé	33,95
Portion ayant résisté au broyage.	0,50
Matière employée à l'opération.	30,00
Bioxyde de barium.	90,00
Nitrate de baryte.	30,00
Acide muriatique pour l'attaque.	300,00
Matière non attaquée.	0,00
Acide sulfurique monohydraté pour la précipitation de la baryte	60,00
Iridium et ruthénium oxydé.	20,50
Réduit par l'hydrogène.	19,25
Potasse..	20,00
Nitrate de potasse.	40,00
Ruthénium réduit et dépouillé de silice.. .	1,85

Ce ruthénium doit être purifié par une ou plusieurs fusions au nitre et à la potasse, jusqu'à ce que sa densité soit de 11,3 environ.

Procédé par grillage.

On sait que M. Fremy a donné un procédé très-élégant pour obtenir l'oxyde de ruthénium cristallisé. Mais ce procédé ne réussit que difficilement pour les substances qui sont les plus nombreuses et qui ne contenant que de petites proportions de ruthénium n'en donnent qu'une quantité insignifiante. Il est manifeste que pour les substances riches en ruthénium, c'est là le mode de préparation qu'il faut d'abord appliquer aux osmiures pour en extraire, à l'état cristallisé, tout ce que ce procédé peut fournir, sauf ensuite à traiter le

résidu par les méthodes que nous venons d'indiquer. Les procédés par grillage appliqués à l'osmium et au ruthénium sont tellement simples, que pour obtenir des échantillons nous engageons toujours à les employer, quand d'ailleurs les osmiures se grillent facilement. Quand au contraire ce grillage est difficile, il est bon de traiter, comme nous l'avons dit pour la préparation de l'acide osmique, l'osmiure d'iridium par sept à huit fois son poids de zinc, de dissoudre par l'acide muriatique tout le zinc en excès, de calciner la poudre au rouge sombre dans un creuset fermé, et enfin d'opérer le grillage à la température de la fusion du cuivre sur une lame de platine et dans un tube de porcelaine. Nous avons obtenu ainsi de beaux cristaux d'oxyde de ruthénium en prismes à base carrée de la forme de l'étain oxydé.

Oxyde de ruthénium: RuO^2.

Ainsi obtenu, cet oxyde a une densité de 7,2, et il a la composition suivante :

Osmium oxydé.	0,7
Iridium oxydé.	1,0
Rhodium oxydé (1).	1,0
Oxyde de ruthénium.	97,3
	100,0

Cette analyse a été faite en dissolvant l'oxyde par le nitrate de potasse et la potasse et en renouvelant sur les résidus le même traitement jusqu'à cessation de toute coloration.

(1) Cette matière a été séparée par le bisulfate de potasse de l'iridium non dissous par le nitre et la potasse. La liqueur acide, traitée par la soude caustique, ne présentait pas bien nettement les caractères de l'oxyde brun de rhodium. Serait-ce que l'iridium se dissoudrait lui-même dans le bisulfate? Nous serions tentés de le croire.

Cet oxyde contient :

	Observé.		Calculé.
Oxygène........	22,3	O^2......	23,3
Ruthénium, etc....	77,7	Ru.....	76,7
	100,0		100,0

Ce sont aussi les résultats obtenus par M. Fremy. L'analyse immédiate de cet oxyde indique bien la cause des différences entre les chiffres relatifs à l'oxygène calculés et tels qu'ils sont donnés par l'observation.

Nous ferons remarquer que toutes les réactions colorées du ruthénium appartiennent presque sans exception à l'iridium, que la composition de l'oxyde de ruthénium est telle, qu'elle pourrait tout aussi bien représenter un oxyde d'iridium $Ir\,O^4$ que l'oxyde $Ru\,O^2$, et cela parce que l'équivalent du ruthénium est sensiblement la moitié de l'équivalent de l'iridium; nous avons fait voir que l'oxyde d'iridium se dissout facilement dans le mélange de nitre et de salpêtre : il était donc indispensable de démontrer que cet oxyde volatilisé n'était pas un nouveau degré d'oxydation de l'iridium. C'est pourquoi nous avons fait les expériences suivantes.

Avec cet oxyde nous avons formé le sel rose de M. Claus, qui nous a donné à l'analyse les nombres suivants :

	Observé.		Calculé.
Chlorure de potassium. .	40,0	2ClK. . .	40,9
Chlore...........	30,2	2Cl....	29,6
Ruthénium........	29,7	2Ru. . .	29,5
	99,9		100,0

Le métal grillé à l'air devient le protoxyde qui a la composition suivante :

	Observé.		Calculé.
Ruthénium........	85,9	Ru....	86,8
Oxygène..........	14,1	O.....	13,2
	100,0		100,0

Enfin, après toutes ces expériences, le métal qui a été dégagé de cette dernière composition avait une densité très-voisine de 11,3 (1), ce qui le caractérise de la manière la plus précise : car l'iridium pèse 21,15.

Composition du ruthénium brut.

Le ruthénium brut obtenu par la méthode précédente et possédant une densité égale à 14 contient :

Ruthénium	88,7
Iridium	11,3
	100,0

Importance de la densité.

Nous ferons remarquer encore une fois que la densité du métal fondu est le meilleur critérium de la pureté du ruthénium. Le mélange de potasse et de salpêtre dissout tant de matières différentes du ruthénium lui-même, que, pour être sûr même qu'on a du ruthénium impur, on est obligé d'avoir recours à ce moyen de vérification. C'est ainsi que des rutheniums non purifiés donnent des densités variables entre 17 et 14, et ne sont jamais exempts d'iridium. Bien plus, si on prend, comme nous l'avons fait, des osmiures en grains entièrement privés de ruthénium et qu'on les attaque par le mélange de nitre et de potasse, on obtient une liqueur bleu foncé dont on extrait facilement un métal qui, fondu et affiné, a une densité de 21,15 comme l'iridium pur. Ainsi, en attaquant 32gr,30 d'iridium métallique provenant d'osmiures en grain, on a obtenu 4gr,43, soit 14 pour 100 d'un métal soluble dans le flux alcalin, et qui après fusion pesait 21,2. Il possède en outre toutes les réactions colorées de l'iridium.

Alliages de ruthénium. Zinc.

Le zinc fait avec le ruthénium un alliage qui se présente sous forme de prismes hexagonaux très-probablement réguliers, formés à la suite d'une évaporation

(1) Cette densité, prise sur une très-petite quantité de matière, ne peut servir que de vérification.

presque complète du zinc. Cet alliage prend feu à l'air et brûle avec une faible déflagration. Sa composition n'a pu être déterminée, faute de matière.

L'alliage de ruthénium et d'étain cristallise en cubes, dont l'angle a été trouvé exactement de 90 degrés. C'est peut-être le plus bel alliage que l'on puisse produire; comparable aux plus beaux échantillons de bismuth cristallisé par la beauté et la dimension de ses cristaux, il se prépare avec la plus grande facilité. Il suffit de chauffer au rouge dans un creuset de charbon le ruthénium avec dix à quinze fois son poids d'étain, d'attaquer la matière refroidie par l'acide muriatique. On trouve une géode de cristaux magnifiques dont la composition est : Étain.

Ruthénium	33	Ru	31 (1)
Étain	67	2Sn	69
	100		100

Nous ne terminerons pas cet article sans rendre un éclatant hommage à la sagacité et à la précision avec laquelle l'auteur de la découverte du ruthénium, M. Claus, a traité ce sujet, sur lequel il n'aurait laissé rien à faire, s'il avait eu à sa disposition les méthodes par voie sèche dont nous avons fait usage presque exclusivement. Cependant nous savons par expérience combien ce sujet est difficile, surtout quand on veut obtenir des résultats aussi précis que ceux qui sont consignés dans les beaux Mémoires de M. Claus.

§ III. — *Palladium*.

Le palladium est le plus fusible de tous les métaux du platine. Les fourneaux qui servent à la fusion du Fusibilité.

(1) Le ruthénium employé n'était pas assez pur pour qu'on pût espérer des nombres plus concordants.

platine l'amènent à l'état liquide avec une facilité extrême. Quand on le soumet, au moyen du chalumeau à gaz tonnants, à la température de fusion de l'iridium, il disparaît en tournant et répandant des vapeurs vertes qui se condensent en une poussière d'une couleur bistre, mélange de métal et de son oxyde (1). Cette expérience doit se faire sur une petite coupelle creusée dans un morceau de chaux vive.

Volatilité.

Rochage et oxydabilité.

Le palladium, chauffé au contact de l'air et maintenu en fusion dans une atmosphère oxydante, roche comme l'argent au moment de sa solidification. Seulement l'oxygène ne se dégageant qu'au moment où la couche supérieure du métal est figée, le lingot qui a roché est caverneux, quoique sa surface soit parfaitement régulière. Le palladium, très-voisin de l'argent, est plus oxydable que lui à basse température: sa surface chauffée est toujours ternie par une très-légère couche d'oxyde.

Palladium incandescent dans les gaz combustibles.

Aussi quand on veut avec le palladium faire l'expérience de la lampe sans flamme, il faut commencer par chauffer sa surface dans une flamme réductrice. On réussit très-bien ces expériences en mettant une plaque de palladium dans un courant de gaz d'éclairage mêlé d'air, tel qu'il sort de la toile métallique d'une lampe ordinaire. Avec cette lampe on chauffe la lame métallique, puis on éteint la flamme en fermant le robinet de gaz. Quelques instants après, le métal étant encore un

(1) Lorsqu'on soumet l'argent à cette température si élevée, en ayant soin de maintenir l'oxygène un peu en excès dans la flamme, on voit l'argent bouillir comme du mercure et disparaître en fumées d'oxyde que l'on peut condenser sur des fragments de creuset ou sur la chaux dans laquelle on a creusé la petite coupelle dans laquelle on fait cette expérience. L'oxyde d'argent ainsi produit est jaune clair, comme un *enduit* de plomb, mais moins foncé de couleur.

peu chaud, on rend le gaz, et le palladium devient incandescent.

Densité.

La densité du palladium pur, fondu et non écroui, est de 11,4 à la température de 22°,5.

Alliages de palladium;

Le palladium est soluble dans le zinc, mais ne s'y combine pas : car après l'action de l'acide muriatique sur un alliage de zinc et de palladium, on ne retrouve que du palladium. Avec l'étain il en est autrement. En fondant du palladium avec six fois son poids d'étain, chauffant au rouge, laissant refroidir et reprenant par l'acide muriatique, il reste une combinaison cristallisée en lamelles fines et brillantes, qui a pour composition :

Palladium.......	57,4	Pd^3......	57,4
Étain..........	42,6	Sn^2......	42,6
	100,0		100,0

d'argent, etc.
Cuivre avec l'étain.

L'argent et le cuivre, qui ont avec le palladium une grande analogie, donnent par ce procédé des alliages avec l'étain tout à fait semblables par leur forme et leur composition :

Argent.	73,7	Ag^3.	73,3	Cuivre.	44,8	Cu^3.	44,9
Étain. .	26,3	Sn^2.	26,7	Étain..	55,2	Sn^2.	55,1
	100,0		100,0		100,0		100,0

§ IV. — *Rhodium.*

Préparation.
Rhodium brut.

Il est facile d'obtenir du rhodium en attaquant les résidus de platine par un des procédés connus, et en particulier par le procédé de M. Wöhler, c'est-à-dire au moyen du chlore que l'on fait agir sur un mélange de sel marin et de résidus, précipitant l'iridium par le sel ammoniac et recherchant le rhodium dans les produits solubles.

Le rhodium réduit par l'hydrogène devra être purifié

de la manière que nous décrirons plus tard. Mais voici le procédé complet que nous recommandons.

Résidus précipités.

Il y a parmi les résidus de platine une matière particulière dans laquelle on doit rechercher de préférence le rhodium. C'est celle que l'on obtient dans les fabriques quand on précipite par le fer les eaux mères dont on a séparé le platine; nous donnerons un peu plus tard, à l'article *résidus de platine*, la composition de ces matières. Le procédé général par lequel nous extrayons le rhodium pur de toute espèce de résidus leur est également applicable.

Purification des résidus.

On commence d'abord par fondre les résidus avec leur poids de plomb et deux fois leur poids de litharge. Quand le creuset dans lequel on opère est bien rouge, la litharge bien liquide, on agite une ou deux fois, on laisse refroidir lentement, et on retire le culot de plomb qu'on nettoie bien et qui contient tous les métaux moins oxydables que le plomb renfermés dans ces résidus. On attaque le plomb par l'acide nitrique étendu de son poids d'eau, ce qui enlève en outre du plomb, le cuivre et le palladium. La substance pulvérulente (1) et métallique qui reste est bien lavée, puis mêlée avec un soin extrême avec cinq fois son poids de bioxyde de barium pulvérisé qu'on pèse exactement (2). La matière introduite dans un creuset de terre est portée au rouge pendant une à deux heures, reprise par l'eau, puis par l'eau régale qui chasse une grande quantité d'osmium qu'on perd ou que l'on recueille par distillation à l'état d'acide osmique. Quand

(1) Quand la substance n'est pas pulvérulente, on la traite par le zinc par le procédé indiqué page 24 pour la pulvérisation des osmiures, à l'article de la préparation du ruthénium.

(2) Ou trois parties de nitrate de baryte et une partie de baryte.

la liqueur a perdu toute odeur, on y ajoute un poids d'acide sulfurique tel, que la baryte soit totalement expulsée du mélange des chlorures. On fait bouillir, on filtre, on fait évaporer en ajoutant à la liqueur d'abord un peu d'acide nitrique, puis, au bout de quelque temps, un grand excès de sel ammoniac. On évapore à sec en chauffant à 100 degrés et on lave avec une solution concentrée de sel ammoniac qui enlève tout le rhodium, jusqu'à ce que les eaux de lavage ne soient plus sensiblement colorées en rose. On évapore la liqueur filtrée avec un grand excès d'acide nitrique qui détruit le sel ammoniac, et, quand il ne reste plus que le sel de rhodium, on achève l'évaporation dans un creuset de porcelaine, on mouille la matière avec un peu de sulfhydrate d'ammoniaque, on la mélange avec trois à quatre fois son poids de soufre. On introduit le creuset de porcelaine muni de son couvercle dans un creuset de terre et on remplit l'intervalle par de la brasque. On chauffe le tout au rouge vif et il reste dans le creuset du rhodium métallique, qu'on peut considérer comme pur à très-peu près quand on l'a fait bouillir longtemps successivement avec de l'eau régale et de l'acide sulfurique concentrés.

Rhodium pur.

Pour obtenir le rhodium avec les qualités que nous allons lui trouver, il faut lui faire subir une autre purification. En effet, ce rhodium, rapproché par le marteau, présentera bien cette malléabilité équivoque qu'on lui attribue; mais une fois fondu il la perdra presque entièrement par suite de l'incorporation dans la masse entière des impuretés mélangées mécaniquement dans le métal. Pour obtenir du rhodium irréprochable, on le mêle avec trois à quatre fois son poids de zinc, on le fond au rouge faible, on brasse bien, on laisse un peu reposer et on coule. Au moment où l'alliage se fait,

il se développe une chaleur telle, qu'une partie du zinc peut être volatilisée ; il faut recouvrir alors le creuset avec le plus grand soin. L'alliage, traité par l'acide muriatique concentré, laisse dissoudre beaucoup de zinc et se résout en une matière cristallisée qui n'est autre qu'un alliage à proportions définies de zinc et de rhodium. Celui-ci est dissous par l'eau régale ; la liqueur est traitée par un excès d'ammoniaque jusqu'à disparition complète ou à peu près complète du précipité (1). Après quelque temps d'ébullition et une évaporation convenable, on obtient le sel jaune ou chloramidure de rhodium (2) que l'on fait cristalliser plusieurs fois, et qui, calciné avec un peu de soufre dans un creuset de charbon à une haute température, donne du rhodium pur et aggloméré qu'on peut ensuite fondre sans perte.

Fusion du rhodium. La fusion du rhodium peut s'opérer soit au moyen du chalumeau que nous avons décrit et d'une petite coupelle en chaux, soit dans les fours en chaux qui servent à la fusion de platine et dont il sera question plus loin.

---

(1) Ce mode de purification par l'ammoniaque et la cristallisation du chloramidure de rhodium est applicable à toutes les dissolutions de rhodium contenant peu d'iridium. Le zinc que nous ajoutons au rhodium pour faciliter sa dissolution est pour nous un réactif volatil qui ne résistera pas à l'action du feu, quand on fondra le rhodium : il ne faut donc pas se préoccuper de sa présence possible dans le sel jaune qui a cristallisé deux ou trois fois.

(2) L'analyse de ce sel nous a donné les résultats suivants qui confirment celle de M. Claus :

	Trouvé.		Calculé.
Rhodium.	34,6	2Rh.	35,2
Chlore.	65,4 (Chlore + Ammoniaque)	3Cl.	36,0
Ammoniaque.		$5AzH^3$.	28,8
	100,0		100,0

Le rhodium fond moins facilement que le platine, si bien que le même feu, qui permet d'amener à l'état liquide 300 grammes de platine, ne liquéfie dans le même temps que 40 à 50 grammes de rhodium. Nous n'avons observé aucune apparence de volatilité dans ce métal; mais il s'oxyde très-superficiellement comme le palladium et roche de la même manière que lui. La surface du lingot est souvent bleuâtre. Quand le rhodium a été ainsi fondu au contact de la chaux, il se trouve débarrassé du silicium qui l'accompagne toujours, de l'osmium dont les dernières traces ne disparaissent qu'au plus grand feu, et il acquiert des propriétés physiques éminemment utilisables. Moins blanc et moins éclatant que l'argent, il a à peu près la même couleur que l'aluminium. Il est ductile et malléable, mais seulement à l'état d'une grande pureté, au moins après sa fusion. C'est une épreuve à laquelle ne résiste pas toujours le rhodium que l'on trouve dans le commerce et qui cependant, à l'état de mousse rapprochée, paraît susceptible de se travailler avec quelque facilité. Propriétés physiques.

La densité du rhodium à l'état de pureté et fondu est de 12,1. Densité.

Les alliages du rhodium sont, au moins pour ceux que nous avons examinés, très-curieux en ce sens qu'ils sont de véritables combinaisons, comme pouvait le faire pressentir la haute température qui se développe au moment de leur formation. Alliages.

Nous avons déjà décrit la préparation de l'alliage cristallisé de zinc et de rhodium. Il résiste à l'action de l'acide muriatique; mais, chose curieuse, au contact de l'air et de l'acide il y a bientôt une coloration rose très-marquée qui décèle une oxydation des deux métaux sous la double influence de l'air et de l'acide. Avec le zinc.

Sa composition est :

Rhodium	43,7	Rh.......	44,5
Zinc.	56,3	Zn^2.	55,5
	100,0		100,0

Avec l'étain. On prépare de la même manière un alliage d'étain et de rhodium. L'acide muriatique laisse une substance cristallisée, noire et brillante, fusible à une haute température, et dont la composition s'obtient facilement au moyen de l'action du chlore qui la transforme en chlorure d'étain volatil que l'on dose à l'état d'acide stannique et en chlorure de rhodium rouge rosé qui est fixe, insoluble dans l'eau régale, et qui a pour composition Rh Cl : on peut doser le rhodium à l'état métallique en le réduisant par l'hydrogène. On a ainsi les rapports suivants :

Étain.........	53,2	Sn.......	53,1
Rhodium p. d. ...	46,8	Rh.......	46,9
	100,0		100,0

§ V. — *Platine.*

Fusion. Après le palladium, le platine est le métal le plus fusible du groupe. Une fois qu'il a été fondu, si on élève beaucoup la température et qu'on en prolonge l'action sur le bouton, le métal se volatilise sensiblement. Il présente au moment de sa solidification le phénomène de rochage qu'on n'avait observé jusqu'ici que pour l'argent. Pour faire rocher le platine, il faut maintenir en fusion dans de la chaux pendant longtemps une masse de 500 à 600 grammes de métal au moins et découvrir brusquement le bain métallique. Quand on le laisse refroidir lentement, le platine ne roche pas.

Affinage. La meilleure manière de se procurer du platine pur est de le fondre et de l'*affiner* dans la chaux. On trouve

dans le commerce du platine de deuxième et de troisième dissolution qui est à peu près dénué d'iridium, mais qui contient toujours des traces d'osmium et un peu de silicium. La fusion dans la chaux au feu d'oxydation l'affine avec une perfection extrême; de l'acide osmique se dégage, et le silicium passe à l'état de silicate de chaux qui fond en une perle incolore qu'on voit s'agiter rapidement sur la surface du métal jusqu'à ce qu'elle arrive sur les bords et qu'elle soit absorbée par les parois du four.

Propriétés physiques

Le platine fondu et affiné est un métal aussi *doux* que le cuivre, ce qui a été constaté à la Monnaie de Paris : il est plus blanc que le platine ordinaire, et ne possède pas cette porosité qui a jusqu'ici mis obstacle à la fabrication d'un doublé de platine imperméable (1).

Le platine fondu possède encore la propriété de condenser les gaz à sa surface et de produire les phénomènes de la lampe sans flamme.

Densité.

Sa densité est égale à 21,15, et moindre que la densité de platine ordinaire qui a subi, pour être travaillé, l'action d'un écrouissage extrêmement énergique.

Mode de fusion du platine

Nous allons décrire l'appareil avec lequel nous avons pu fondre le platine en opérant sur des quantités rela-

(1) M. Savard, qui possède une des fabriques de doublé les plus importantes de Paris, a fait à ce sujet des essais extrêmement intéressants dont il ne nous est pas encore possible de donner les résultats, parce qu'ils ne sont pas terminés. A propos de ces expériences, M. Savard a eu la complaisance de mettre à notre disposition une masse de platine de 4 kilog. qui nous a servi pour les premiers essais que nous avons tentés, et les outils principaux d'un magnifique atelier de laminage où nous avons pu étudier, grâce à lui, les propriétés physiques des métaux que nous avons obtenus successivement dans le courant de ce travail.

tine ; il se manifeste alors une ébullition très-sensible dans la masse métallique. Peu à peu la solidification s'opère jusqu'au centre, et l'on éteint entièrement le foyer. Il y a toujours projection de platine à la voûte du four ; on le recueille après l'opération avec la plus grande facilité.

Coulée du platine.

Quand on veut couler le platine, on prépare une lingotière soit en fonte épaisse et bien frottée avec de la plombagine, soit en charbon de cornues ou en chaux. Ces dernières se fabriquent avec la plus grande facilité avec des plaques de la matière, sciées et maintenues par du fil de fer. Après la fusion, on enlève la voûte du four, on saisit le foyer avec des pinces, et l'on coule le platine sans se presser, comme on le ferait pour un métal ordinaire. La seule difficulté, que l'habitude apprend à surmonter, c'est de pouvoir en même temps distinguer la surface éblouissante du platine et l'ouverture béante de la lingotière afin de verser à coup sûr.

Appareil pour la coulée.

Il ne faut jamais couler à la pince une quantité de platine supérieure à 3 ou 4 kil. On courrait un trop grand danger dans le cas où la pince ou toute autre partie de l'appareil céderait. Il faut (comme nous l'avons fait en opérant sur 12 kil. de platine à la fois) employer un four (voyez *fig.* 9) construit d'après les mêmes principes que celui que nous venons de décrire, mais composé, à cause de sa grandeur, avec des morceaux de chaux ajustés comme des briques dans un appareil cylindrique en tôle, où on les dispose avec une grande facilité, on y creuse ensuite la sole K. La voûte V est elle-même composée de plusieurs morceaux de chaux assemblés et maintenus par un cercle en fer très-solide et muni d'une vis de pression ; quand les morceaux de chaux sont bien assemblés et serrés, on travaille la surface de la voûte et l'on perce le trou Q avec la plus grande

facilité. Le foyer contenu dans le cylindre de tôle K est rendu mobile autour de deux supports LL à charnières, disposés de telle sorte, que la ligne horizontale qui joint les charnières passe par le trou de coulée D; et lorsque avec une queue S, attachée au cylindre de tôle, on le soulève, tout l'appareil tourne autour de cette ligne LL, et le liquide contenu sur la sole du four s'écoule en D, sans que le point D lui-même se déplace. On peut essayer cette petite manœuvre très-simple en remplissant la sole avec du mercure, et effectuer la coulée avec ce métal avant de la faire avec le platine fondu. Les principes sur lesquels nous nous sommes appuyés pour construire nos appareils sont fort simples :

1° La chaux est peut-être le corps le plus mauvais conducteur que l'on connaisse, si bien qu'à travers une épaisseur de 2 centimètres au plus, l'appareil étant plein de platine fondu, l'extérieur est à peine à 150 degrés. Principes de ces appareils

2° La chaux est le corps qui rayonne la chaleur et la lumière avec le plus de perfection ; c'est à cause de cela qu'on l'a choisie pour obtenir la lumière Drummond. Ce sont donc les meilleures parois que l'on puisse donner à un four à réverbère de cette espèce.

3° La chaux agit sur toutes les impuretés dont on a intérêt à débarrasser le platine, fer, cuivre, silicium, etc., et les transforme en combinaisons fusibles qui pénètrent sa substance si poreuse. Elle agit comme une coupelle dont la matière purifierait le métal qu'on y fond.

Une expérience faite au laboratoire de l'École normale avec des gazomètres de 1.400 à 1.500 litres d'oxygène et le gaz de l'éclairage, au moyen de l'appareil à charnières dont il vient d'être question, a donné les résultats suivants :

Déchets et dépenses d'oxygène.

En quarante-deux minutes, dans lesquelles est compris le temps nécessaire à la détermination des proportions de gaz nécessaires et les tâtonnements inséparables de la manipulation d'un appareil qu'on ne connaît pas encore, nous avons fondu $11^{k},595$ de platine en monnaie de Russie. Après la fusion, on a été obligé d'affiner le métal qui contenait un peu d'osmium et des quantités notables de silicium, puis on l'a coulé dans une lingotière de charbon de cornues où il s'est maintenu liquide pendant un temps considérable. La dépense de gaz oxygène a été de 1.200 litres, et la perte de poids du platine de 135 grammes, dont la moitié consistait en pertes mécaniques, provenant des projections pendant la coulée, de sorte que la perte réelle a été estimée à 1/2 p. 100 au plus du poids de platine : ce qui correspond à très-peu près aux impuretés que contenait ce platine (1).

Ainsi, affinage compris, chaque kilogramme de platine exige pour sa fusion 100 litres de gaz oxygène. Mais l'affinage en dépense presque autant que la fusion ; car dans des expériences de ce genre faites avec du platine très-pur appartenant à M. Savard, en opérant sur 3 kil., quantité déjà trop faible pour une pareille détermination, la quantité d'oxygène nécessaire pour fondre chaque kilogramme de platine a été de 60 litres seulement.

Qualité des lingots.

Le moulage du platine exige les mêmes précautions que le moulage de l'argent. D'après les essais faits au

(1) MM. Desmoutis et Chapuis avaient bien voulu fournir le platine qui a servi à cette expérience. Dans une autre expérience faite également avec de la monnaie de platine russe due à l'obligeance de M. Matthey, de Londres, $3^{k},110$ ont perdu 10 grammes, soit $\frac{1}{311} = 0,0032$.

moyen des outils de M. Savard et de son platine, que nous avons refondu bien des fois grâce à son extrême obligeance, nous avons eu avec la même matière des lingots mal réussis, malléables, mais bulleux, et le plus souvent une matière irréprochable, comparable au métal le plus doux. Il y a donc dans cette opération un tour de main à trouver pour la faire réussir à coup sûr. Ceci est du domaine de la pratique.

Nous avons préparé notre oxygène au moyen du bioxyde de manganèse et de bouteilles à mercure que nous avons chauffées dans un petit four à réverbère (*fig.* 1), au moyen d'une couche épaisse de houille aussi collante que possible, pour éviter de brûler les bouteilles en les enveloppant d'une flamme très-fuligineuse. Préparation de l'oxygène.

Chaque bouteille à mercure (1, 2, 3, 4, 3, 6) contient 5 kil. de manganèse : elle sert presque indéfiniment quand elle est suffisamment ménagée. Après l'avoir chargée, on la place dans le four à réverbère, horizontalement ou verticalement, à volonté ; nous supposerons qu'on la dispose horizontalement : un tube de fer un peu conique à une de ses extrémités, enfoncé à coups de maillet dans l'ouverture de la bouteille à mercure et luté avec de la terre à poêle, conduit, au moyen de tubes de caoutchouc, le gaz oxygène dans un petit barillet de cuivre (*fig.* 6) contenant de l'eau et recevant les tubes venant des bouteilles à mercure, de manière à les isoler les uns des autres au moyen de la couche d'eau que les gaz sont forcés de traverser. A la partie latérale et supérieure du barillet, un tube horizontal d'abord, puis légèrement incliné, amène les gaz et l'eau condensée dans un flacon plein de chaux éteinte ou d'une dissolution de soude caustique où l'oxygène perd son acide carbonique. Ce vase doit être refroidi si le Appareil de production

barillet ne l'est pas, parce que l'eau que contient le peroxyde de manganèse, y arrivant en vapeur, pourrait l'échauffer outre mesure. De là le gaz passe dans le gazomètre plein d'eau, dont on règle l'écoulement de telle manière, que la pression doit toujours être de quelques centimètres d'eau supérieure à la pression atmosphérique.

Four à reverbère. La forme du four à réverbère que nous employons à l'École normale est tellement simple, qu'elle n'a pas besoin de description. La vue de la *fig.* 1, avec ses dimensions qui sont à l'échelle, suppléera à une description. Seulement nous observerons que les trois premières bouteilles (1, 2, 3) doivent être très-rapprochées pour diminuer autant qu'il est nécessaire la vitesse de la flamme. La première bouteille doit toucher à peu près la voûte ; la seconde, placée sur la même ligne verticale, doit être très-rapprochée de la première, et la troisième seulement doit laisser entre elle et la sole du four l'espace nécessaire pour donner passage à presque toute la flamme. Après cela les trois autres (1) sont réparties *régulièrement* dans l'espace qui reste. Il faut se souvenir que la flamme et la chaleur tendent toujours à monter et qu'on a toujours intérêt à la faire descendre.

Barillet. La *fig.* 6 indique la disposition du barillet avec ses tubes A d'arrivée du gaz ; le trou B de sortie qui détermine le niveau de l'eau, et le manomètre M qui donne la pression du gaz. Il est refroidi par un courant d'eau froide.

Gazomètres. La *fig.* 5 donne la forme de nos gazomètres que nous faisons en zinc et qui sont d'une simplicité extrême. Le

---

(1) Quand on n'en met que cinq, c'est la sixième bouteille dont la place doit rester vide.

robinet d'écoulement de l'eau A sert aussi à l'introduction de l'eau qui doit chasser le gaz, lorsqu'on veut s'en servir : il doit avoir une grande section, et pour un gazomètre de 800 litres il doit porter au moins 2 centimètres carrés de section. Le robinet B sert aussi alternativement à l'introduction et à la sortie du gaz oxygène. Le manomètre M contient du mercure et indique la pression pendant que le gazomètre se vide. Enfin un tube de verre N, lié par des tubes de caoutchouc à deux petites tubulures TT latérales communiquant avec l'intérieur du gazomètre, permet de constater le niveau de l'eau.

Prix de revient de l'oxygène.

Le prix de revient de l'oxygène peut être calculé très-facilement. 100 kil. de manganèse d'Allemagne à 75 degrés reviennent à 26 francs, et on a intérêt à prendre cette qualité très-estimée, parce qu'après avoir servi à faire de l'oxygène, le manganèse étant aussi bon, si ce n'est meilleur qu'auparavant, pour les verriers, on le reprend pour 10 francs les 100 kil. ce qui fait revenir à un peu plus de 17 francs les 100 kil. de manganèse. D'après nos expériences, 25 kil. de manganèse à 26 francs donnent 1500 litres d'oxygène, ce qui fait que

100 kil. de manganèse donnent 6 mètres cubes
ou $8^k,6$ d'oxygène.

On voit qu'en pratique nous avons obtenu le tiers environ de l'oxygène que contiennent 100 kil. de manganèse (ou 75 kil. de manganèse pur) à 75 degrés, c'est-à-dire à très-peu près la quantité théorique. Nous nous sommes servis de manganèses très-riches et plus chers à proportion que les manganèses pauvres qu'on aurait cependant intérêt à employer, parce que le chauffage et les vases ont une très-faible valeur, relativement au prix du manganèse. D'après ces expé-

riences, chaque mètre cube revient à 3 francs, en comptant le manganèse à 17 fr. les 100 kil.; et en estimant largement les prix de combustibles, de vases, etc., on arriverait au plus à 4 francs le mètre cube. Le prix de fusion d'un kil. de platine affiné serait donc au plus égal à $0^{fr},40$, et d'un kil. de platine pur à $0^{fr},24$.

De la fusion d'un kilogramme de platine.

La quantité de gaz de l'éclairage employé à fondre $11^{kil},595$ de platine a été à peine de quelques centaines de litres, de sorte que sa valeur disparaît ici entièrement et ne peut entrer en ligne de compte, surtout quand les chiffres ne doivent pas avoir une exactitude plus grande que celle qui résulte naturellement d'expériences faites dans un laboratoire et sur une petite échelle.

Préparation de l'hydrogène.

Si on emploie de l'hydrogène, nous avons dit qu'on obtenait une température plus élevée. Nous préparons l'hydrogène soit dans un appareil de M. Desbassayns de Richemond, contenant 60 litres, et où l'on met 100 kil. de zinc, soit au moyen d'un flacon ou bombonne de verre ou de grès tubulé par le bas, contenant 50 à 60 litres et rempli exactement avec du zinc en morceaux. Un tube en U amène de l'acide sulfurique au 10e à la partie supérieure du zinc, et le sulfate de zinc s'écoule par un tube de cuivre muni d'un robinet également en cuivre qu'il faut laver après chaque opération. On règle l'écoulement de ce robinet de manière que le liquide saturé de zinc, après avoir traversé la couche de métal dans la bombonne, ne puisse s'y accumuler. Un tube de verre communiquant en haut et en bas par des tubes de caoutchouc avec l'intérieur de la bombonne donne le niveau du liquide qu'elle contient. La bombonne doit être constamment aspergée d'eau froide pour empêcher toute élévation de température. Ce point est très-important. Au bouchon qui est à la

partie supérieure de la bombonne est adapté un tube recourbé plongeant dans une éprouvette pleine d'eau et haute de 20 à 30 centimètres. C'est une soupape de sûreté par laquelle s'échappe l'hydrogène quand on suspend ou même qu'on ralentit son écoulement. Le générateur d'hydrogène peut être en plomb ou mieux en cuivre doublé de plomb. Il est bon alors qu'il soit plongé entièrement dans un grand baquet d'eau que l'on renouvelle constamment : il faut empêcher par tous les moyens possibles l'eau, dont la vapeur se condense dans les tubes qui amènent le gaz au chalumeau, d'y séjourner, ce qui déterminerait des oscillations dans la pression dont l'effet serait très-nuisible à l'opération. Nous le répétons encore, tous les robinets, tous les tuyaux de conduite de ces différents gaz, surtout quand on emploie le gaz de l'éclairage, doivent être à large section.

Avantage de la fusi du platin

La méthode que nous venons d'exposer, appliquée à la révification du vieux platine, donne des résultats excellents. Aucun métal étranger, excepté l'iridium et le rhodium, ne peuvent exister dans le platine après qu'il a été fondu et affiné par les procédés que nous avons décrits. Toutes les matières qui attaquent le plus facilement le platine, le soufre, le phosphore, l'arsenic, l'or avec lequel on le soude, le fer, le cuivre, le palladium, l'osmium, s'en séparent soit par l'oxydation et l'absorption par la chaux, soit par la volatilisation. Le platine contenant de l'or, du palladium, laisse échapper ces métaux à l'état de vapeur, et on peut les recueillir avec facilité en faisant entrer la flamme qui sort du four dans un tuyau de terre où elle dépose toutes les matières étrangères volatiles, sauf l'acide osmique ; celui-ci se condense lui-même si l'on met un vase plein d'ammoniaque dans le trajet des vapeurs. D'ailleurs une partie

de l'osmium se dépose dans le tube à l'état métallique, soit qu'il se volatilise dans le courant gazeux de la flamme, soit que l'acide osmique produit dans le foyer se réduise plus loin dans le tube de condensation.

Modification de ces appareils. La forme des fours que nous avons employés pourrait être légèrement modifiée et devenir par exemple elliptique ou rectangulaire, si l'on voulait opérer la fusion au moyen de deux chalumeaux. Il est évident que les quantités de platine qu'on pourrait y fondre sont illimitées : c'est ce qui a frappé toutes les personnes qui ont assisté à nos expériences, et qui ont constaté avec nous que le platine est un métal extrêmement facile à liquéfier, à couler et même à mouler ; car le platine reste très-longtemps fondu dans un moule en chaux préalablement chauffé à 500 ou 600 degrés. D'ailleurs, on pourrait fondre le platine dans des fours séparés contenant 25 à 50 kil., et en verser en même temps le contenu dans le moule, comme on le fait pour l'acier. Seulement nous recommanderons de ne donner jamais plus de 4 à 5 centimètres d'épaisseur au bain de platine, à moins qu'on ne l'agite constamment, soit par le vent forcé des chalumeaux, soit au moyen de ringards en chaux ou magnésie fortement cuites, et cela parce que le platine n'est pas assez bon conducteur pour rester parfaitement liquide sous une épaisseur plus considérable. On risquerait autrement de manquer soit l'affinage, soit même la fusion de la masse métallique.

Densité. La densité du platine fondu a été trouvée de 21,15.

Alliages du platine. Étain. L'étain et le platine forment un alliage bien cristallisé en cubes, au moins en rhomboèdres dont les angles sont très-voisins de 90 (les faces sont toujours peu miroitantes) ; leur composition est donnée par la formule

	Observé.		
Platine	52,9	Pt^2	52,6
Étain	47,1	Sn^3	47,4
	100,0		100,0

On l'obtient en faisant fondre du platine avec six fois son poids d'étain, laissant refroidir lentement et dissolvant avec l'acide muriatique l'excès d'étain qui laisse l'alliage de platine en géodes très-belles et très-élégantes.

Les alliages du platine avec les métaux (1) communs sont presque tous étudiés et ne présentent que peu d'intérêt. Le zinc paraît se combiner avec le platine et donner un alliage cristallisable qu'on obtient en fondant du platine avec un excès de zinc, et attaquant par l'acide muriatique qui dissout l'excès de zinc. Il est très-difficile d'empêcher un peu de platine d'échapper à l'action du zinc, ce qui fait que dans nos analyses le platine a toujours été trouvé en excès sur les nombres que donne la formule $Pt^2 Zn^3$ par laquelle se représente manifestement sa composition qui est donnée par les proportions Zinc.

Zinc	30,4
Platine	69,6
	100,0

(1) Les métaux du platine étant infusibles par les moyens employés jusqu'ici, on n'a pu faire de tentatives sérieuses pour obtenir avec eux de véritables alliages. Cependant M. Chapuis nous a montré un alliage de platine et de rhodium provenant de l'agglomération des mousses et qui paraissait assez homogène : nous l'avons fondu bien plus facilement que le rhodium. Après l'affinage qui a enlevé du silicium et un peu d'osmium, l'alliage s'est travaillé à merveille. D'après les observations de M. Chapuis, il est inattaquable par l'eau régale, ce qui en fait une des matières les plus précieuses pour la fabrication de certains vases de chimie. Cet alliage devait contenir 30 p. 100 de rhodium. (Voir plus loin pour les autres alliages.)

§ VI. — *Iridium.*

Préparation.

Nous avons obtenu l'iridium en prenant de l'osmiure fin (1) ou pulvérisé par le zinc (*voyez* page 24), en l'attaquant par cinq fois son poids de bioxyde de barium (2) avec les précautions que nous avons déjà indiquées (page 25) au sujet de la préparation du ruthénium. La matière noire obtenue est débarrassée d'acide osmique par l'ébullition dans l'eau régale très-longtemps prolongée. Puis la dissolution est traitée par la quantité d'acide sulfurique strictement nécessaire à la séparation de la baryte qui existe dans la liqueur dont on connaît le poids rigoureusement. Les chlorures métalliques dissous ont une couleur rouge jaunâtre très-foncée; on les évapore après avoir ajouté un excès d'acide muriatique, et à la fin on introduit du sel ammoniac en morceaux de manière à saturer la liqueur, et en quantité bien supérieure à ce qui est nécessaire pour précipiter l'iridium. On évapore à sec dans une étuve chauffée à 60 degrés, ou au bain-marie, et quand toute odeur acide a disparu, on lave, jusqu'à ce que la liqueur passe incolore, avec une solution concentrée de sel ammoniac qui, en outre des métaux étrangers au platine, enlève le rhodium, puis avec de l'eau un peu moins chargée de sel ammoniac. Il reste sur le filtre le sel rose de ruthénium de M. Claus et surtout du chlorure d'iridium et d'ammoniaque. Ce chlorure d'iridium et d'ammoniaque noir qui reste sur le filtre est

(1) Cet osmiure s'extrait facilement des résidus de platine, soit par des lavages, soit par une attaque au plomb et à la litharge. Voyez plus haut l'article *Rhodium* (page 34). L'osmiure fin se sépare au moyen d'un tamis de soie.

(2) Ou bien trois fois son poids de bioxyde de barium et une fois son poids de nitrate de baryte.

séché, puis calciné au rouge naissant de façon à décomposer les sels ammoniacaux d'une manière complète, et les chlorures métalliques d'une manière imparfaite. Un courant d'hydrogène enlève les dernières traces de chlore ou d'oxygène, et l'on obtient une mousse métallique dans laquelle aucun alliage n'a pu se faire. L'eau régale en extrait quelquefois un peu de platine, mais n'en laisse plus trace ; elle enlève encore un peu d'osmium, mais pas tout ce qui s'y trouve, quoiqu'il en reste peu. Cette poudre est fondue dans un mélange de nitre et de potasse, lavée avec soin et chauffée au blanc dans un creuset de charbon, ce qui l'agglomère, et enfin portée dans un petit four en chaux (voyez *fig.* 8) qu'on alimente avec de l'hydrogène pur et de l'oxygène. On chauffe fortement pendant quelque temps et dans une atmosphère oxydante (ce dont on s'aperçoit facilement en mettant une allumette ou un fil de fer dans la flamme qui sort du four : ils doivent y brûler en lançant de vives étincelles). Lorsque toute odeur d'osmium a disparu, on augmente la vitesse des deux gaz de manière que, leurs proportions étant convenablement gardées, l'oxygène s'échappe avec toute la pression des gazomètres, c'est-à-dire de 4 à 5 centimètres de mercure au moins. Alors l'iridium fond peu à peu et finit par devenir aussi liquide que du mercure. Pour fondre 25 grammes d'iridium, il faut, le four une fois chauffé, au moins 200 à 300 litres d'oxygène et par conséquent le double de ce volume d'hydrogène. Le gaz de l'éclairage n'est pas assez pur à Paris pour que nous ayons pu nous en servir pour fondre l'iridium.

Nous avons pu fondre pour M. Jacobi un lingot d'iridium de 267 grammes qui ne contenait que quelques traces d'osmium que l'affinage a fait disparaître. M. Re-

gnault en a pris la chaleur spécifique, et il a trouvé pour la première fois que l'iridium rentrait dans la loi commune des corps simples, concluant de ses nombres que la matière sur laquelle il avait opéré était extrêmement pure ou contenant quelques traces de ruthénium.

Un lingot d'iridium est d'un blanc pur, ressemblant un peu à l'acier poli dont il a l'éclat. Il cède sous le choc, s'aplatit un peu et se casse comme un métal cristallin. Au blanc il se conduit mieux sous le marteau, et, à cette température et au moyen d'une virole et d'un balancier, nous pensons qu'on pourrait détruire sa texture cristalline et, par suite, le forger, comme on le fait pour le zinc et certains alliages d'aluminium (1).

sité. La densité de l'iridium fondu est la même que pour le platine, c'est-à-dire 21,15.

lages. Les alliages de l'iridium avec les métaux communs ont été déjà observés, mais il en est deux qui sont de véritables combinaisons, et en cela intéressants à étudier : c'est l'alliage de zinc ou d'étain avec l'iridium. Ces alliages sont cristallisés et parfaitement définis dans leur composition, comme on peut le voir par l'analyse d'un alliage multiple que nous avons fait avec l'étain et quelques métaux du platine. Nous avons eu, en employant dans cette expérience un excès d'étain, qu'on dis-
tain. sout ensuite par l'acide muriatique, un résidu cristallisé très-beau qui, attaqué par le chlore gazeux, contenait :

		Rapport des équivalents.		
Platine......	32,0	 0,235	0,547	2
Iridium.....	19,5	 0,198		
Rhodium.....	1,2	 0,024		
Étain.......	47,3	....	0,803	3
	100,0			

(1) C'est M. Hulot, de la Monnaie de Paris, qui, à notre connaissance, a fait le premier usage de ce moyen mécanique pour

Quand on fond de l'osmiure d'iridium avec cinq ou six fois son poids d'étain, qu'on maintient longtemps l'alliage au rouge vif dans un creuset de charbon, qu'on laisse ensuite refroidir lentement la matière et qu'on la traite par l'acide muriatique, il se dissout de l'étain avec des traces d'iridium, et il reste de l'osmium cristallisé en poussière très-fine qu'on peut séparer par le tamis, enfin un alliage d'une grande beauté, brillant, en gros cristaux et dont toutes les faces ont entre elles une inclinaison de 90 degrés. Ce sont des cubes formant souvent des trémies comme le sel marin. Ces cristaux ont souvent plusieurs millimètres de longueur. Ils sont inattaquables par l'eau régale.

Pour les analyser on les a traités en rouge vif dans une nacelle et un tube de porcelaine par un courant d'hydrogène sulfuré ; il se forme du sulfure d'étain volatil qu'on peut recueillir, et il reste de l'iridium parfaitement dépouillé d'étain. Ce mode d'expulsion de l'étain par la volatilité de son sulfure est d'une grande perfection : il est souvent employé dans les analyses au laboratoire de l'École normale. On obtient ainsi :

Étain................	56,6
Iridium...............	43,4
	100,0

La formule qui convient le mieux à ces nombres est la formule



$$Sn^2Ir,$$

qui n'exige que 54,6 pour 100 d'étain. Mais on observera que l'osmiure d'où provient l'alliage renferme toujours une quantité notable de rhodium, que le rho-

---

rendre malléables des métaux cristallisés par la fusion et susceptibles, en perdant leur texture, de pouvoir être travaillés.

dium a un équivalent de moitié moindre que l'équivalent de l'iridium, de sorte que la formule



$$Sn^2Ir$$

doit être considérée comme confirmée par les résultats de notre analyse.

Zinc. L'alliage de zinc et d'iridium n'est pas cristallisé et ne présente aucun intérêt.

Iridium et métaux du platine. Les alliages de métaux de platine avec l'iridium ont été l'objet d'études très-longues, dont nous allons donner les détails.

L'iridium et le platine s'unissent très-facilement quand l'iridium est en petite quantité, si bien même, qu'il y a bien peu de platine dans le commerce qui en soit entièrement exempt. Le platine absolument pur est aussi mou que l'argent, aussi ductile que l'or, et des traces seulement d'iridium suffisent pour lui donner cette roideur qui est avantageuse dans la plupart des emplois. Berzélius avait déjà fait cette observation. On croyait cependant que de très-petites quantités d'iridium suffisaient pour rendre le platine cassant et impossible à travailler. C'est vrai en effet pour ces alliages que l'on prépare la plupart du temps sans le vouloir en précipitant ensemble de l'iridium avec le platine. Il est clair que le corroyage de cet alliage ne peut le rendre homogène et souvent même ne soude pas entre elles les particules des deux métaux différents. Mais il en est autrement de ces mêmes matières après leur fusion : elles deviennent alors très-malléables en conservant de la rigidité, qui est presque toujours une qualité dans les métaux. Nous avons été fort étonnés, en commençant nos expériences, de voir que le minerai de platine simplement fondu donnait un métal d'un travail très-facile, que M. Savard, bon juge en pareille

[redacted]

matière, a pris pour du platine ordinaire très-doux. En choisissant des minerais de plus en plus riches en osmiure d'iridium, puis en ajoutant enfin de l'iridium ou de l'osmiure d'iridium en quantités connues, soit à du platine pur, soit à du minerai très-riche, nous avons réussi quelquefois à faire entrer 16, 18 et même 20 p. 100 d'iridium avec un peu de rhodium dans la composition d'alliages encore assez maniables. Ces alliages résistent beaucoup plus à l'action de la chaleur et de l'eau régale, quoique cependant ils se laissent attaquer à la longue, même lorsqu'ils sont très-chargés d'iridium. Les personnes qui voudraient, d'après les détails que nous allons donner, répéter ces expériences, doivent faire attention à ce fait que le mode de fusion et d'affinage de ces matières contribue pour beaucoup à leur donner les qualités que nous leur avons constatées.

Dans ces derniers temps nous avons pu, grâce à des matériaux très-précieux appartenant à M. Jacobi, le célèbre académicien de Saint-Pétersbourg, faire des expériences très-précises sur les propriétés des alliages de platine et d'iridium. Ces recherches ont été faites au laboratoire de l'École normale et à la monnaie de Paris, en présence de M. Jacobi qui était chargé par le gouvernement russe d'étudier toutes les questions techniques relatives au platine fondu et à ses alliages.

On s'est servi de platine du commerce et d'iridium en mousse agglomérée à la façon du platine par le martelage, qu'on a fondus dans un four en chaux. Platine et iridium

On a fait par fusion les alliages suivants :

I.		II.		III.		IV.	
Platine..	80	Platine..	90	Platine. .	95	Platine. .	92,5
Iridium.	20	Iridium.	10	Iridium.	5	Iridium.	7,5
	100		100		100		100,0

Le dernier alliage n'avait qu'une composition approchée, attendu qu'il avait été formé avec les rognures des précédents fondus ensemble dans les proportions à peu près nécessaires pour donner les nombres 92,5 et 7,5.

Ces alliages se sont fondus et affinés avec une grande perfection, sans aucune difficulté et presque sans perte. Ils se sont laminés sans reçuit et à froid sans gerçure, et leur surface était très-belle. Sur l'un des côtés des lames correspondant à la partie supérieure du lingot, il y avait quelques *pailles* qui ne s'observaient que lorsqu'on chauffait au blanc le métal, et cette imperfection provenait des parties de la surface altérées par la cristallisation ou le rochage au moment de la solidification : ce sont ces parties que les ouvriers qui travaillent l'or et l'argent appellent *la soie*, et cette soie doit être enlevée avec soin avant le travail du lingot, si l'on veut éviter ces inconvénients auxquels n'échappe aucun métal précieux. Dans nos essais les masses métalliques sur lesquelles on opérait étaient insuffisantes pour nous permettre de prendre ces précautions.

Plus l'alliage est riche en iridium, plus il est dur et rigide, mais sans perdre de sa malléabilité, plus il résiste à l'action de l'eau régale, sans pourtant que cette résistance soit absolue, même pour l'alliage à 20 p. 100. Des essais ultérieurs nous ont appris qu'on peut obtenir des alliages malléables et plus inaltérables avec des proportions d'iridium bien plus considérables.

Avec ces alliages, on a fait des médailles et des monnaies qui ont pris l'empreinte du coin avec une perfection extrême, et qui présentent une couleur plus blanche que celle du platine ordinaire.

Ces médailles ont été pesées au laboratoire des essais de la Monnaie et l'on a trouvé pour leurs densités :

N° I.	21,37
N° II.	21,30
N° III.	21,21
N° IV.	21,20

Tous ces nombres correspondent à un état d'écrouissage très-énergique des métaux employés.

Le frappage de ces métaux, quand on veut obtenir de forts reliefs, exige un recuit au blanc intense.

Nous avons fait à ce sujet une remarque à laquelle nous ne donnons aucune importance, mais qui vaut peut-être la peine d'être signalée.

Les médailles en argent, en cuivre, en or et en platine se frappent avec une facilité d'autant plus grande que les métaux sont plus fusibles, comme si les molécules, pour prendre par la pression verticale un mouvement horizontal dans le déplacement qui les portent des parties latérales vers le centre où se trouve le relief, exigeaient un ramollissement de la matière métallique. Les expériences de Thompson et de M. Tyndall sur la glace donnent à penser que cette hypothèse n'est pas tout à fait dénuée de fondement.

Ce qui caractérise ces alliages, c'est que l'iridium leur donne une rigidité croissante avec sa proportion, sans que la ductilité en souffre, et que la résistance à l'eau régale augmente en même temps.

Platine, iridium et rhodium.

L'alliage triple de rhodium, d'iridium et de platine a été obtenu pour la première fois par nous en fondant directement ou le minerai de platine ou le platine lui-même avec cette espèce de résidus de platine qu'on obtient en précipitant par le fer les liqueurs débarrassées du platine et du palladium dans les fabriques de platine. Nous donnerons plus loin la composition de ce mélange très-complexe, où le rhodium est en très-notable quantité.

M. Chapuis nous a depuis remis un excellent alliage d'iridium, très-dur et très-rigide quoique parfaitement malléable, et dont la composition a été trouvée :

Platine	75,2
Iridium	23,3
Rhodium	1,7
	100,2

Il a fallu presque un mois de séjour dans l'eau régale pour dissoudre la moitié d'une lame très-mince pesant 1 gramme, et cependant l'eau régale était renouvelée tous les deux jours.

D'après des renseignements provenant de fabriques de produits chimiques de l'Alsace, ces alliages, même moins riches en iridium, résistent beaucoup mieux que le platine pur à l'action de l'acide sulfurique bouillant; il est probable qu'ils recevront des applications. Les vases de laboratoire faits avec ces alliages étant moins mous que le platine ordinaire, nous ont paru d'un excellent usage.

Un autre alliage, sorti de la fabrique de MM. Desmoutis et Chapuis, présentant de très-bonnes qualités, très-rigide, résistant mieux aux acides que le platine ordinaire, nous a donné à l'analyse la composition suivante :

Platine	91,2
Iridium	5,4
Rhodium	4,1
	100,7

Nous donnerons un peu plus loin la manière de préparer ces alliages d'une manière économique.

§ VII. — *Osmiure d'iridium.*

Les osmiures d'iridium sont des matières très-variables entre elles, d'aspect, de composition et même de propriétés chimiques. Nous ne dirons qu'un mot à leur sujet dans ce paragraphe, nous réservant d'y revenir à propos de leurs analyses.

La densité des osmiures d'iridium est très-variable d'une espèce à l'autre : mais il faut dire que cette propriété physique ne doit être déterminée que sur des échantillons préparés avec le plus grand soin. Ces matières retiennent avec une opiniâtreté excessive les substances étrangères qui les souillent, de sorte qu'il faut un traitement très-compliqué souvent pour les en débarrasser. Les moyens qu'il faut adopter pour purifier ces matières sont, comme on va voir, d'espèces très-différentes. Densité.

1° On les fait chauffer au blanc dans du borax et dans un creuset de terre, puis on ajoute d'argent grenaillé une fois ou une fois et demie le poids de la matière traitée. L'osmiure se rassemble dans l'argent; on nettoie au besoin le bouton avec un peu d'acide fluorique, on le dissout dans l'acide nitrique et on le lave. 2° Quand tous les grains ne sont pas très-brillants, on peut les fondre dans du carbonate de soude au creuset de platine. 3° Enfin, après avoir pris la densité, on concasse les grains dans un mortier d'Abich, on les passe au tamis pour enlever les parties fines, on les fait bouillir avec l'acide nitrique, on lave et on sèche. Il arrive souvent qu'en prenant une seconde fois la densité on trouve un nombre beaucoup plus fort, à cause des impuretés que le mortier et le tamis ont permis d'en séparer. Ainsi avec de l'osmiure en pépites de Russie on a obtenu :

Après la fusion au borax et à l'argent, une densité de.	20,2
Après la fusion au carbonate de soude.	20,5
Enfin après le concassage répété et le tamisage.	20,8

Nous pensons que ce dernier nombre n'est pas encore suffisamment élevé, car cet osmiure ne contient que des traces de ruthénium et de rhodium, et par suite sa densité devait être très-voisine de 21,2, qui est la moyenne entre les densités de l'iridium et de l'osmium. Les densités des divers osmiures seront données plus tard en même temps que leurs compositions.

Résumé.

Les métaux du platine peuvent se diviser en deux catégories distinctes :

Équivalent, 53.	Densité.	*Équivalent*, 98,5.	Densité.
Ruthénium. . . .	11,3	Osmium.	21,4
Rhodium.	12,1	Iridium.	21,15
Palladium.	11,4	Platine.	21,15

Chacun de ces métaux, dans sa catégorie, est rangé suivant l'ordre inverse de la fusibilité, le métal lourd étant toujours plus réfractaire que le métal léger qui lui correspond, de telle sorte que l'ordre inverse des fusibilités est celui-ci :

Osmium,
Ruthénium.
Iridium,
Rhodium,
Platine,
Palladium.

Les métaux du platine font donc une série régulière et complète dont il ne paraît pas manquer de terme.

Les alliages cristallisés de ces métaux méritent d'être rapprochés à cause de leur composition et de

leur résistance singulière aux acides : nous les donnerons ici :

L'osmium ne forme aucun alliage à proportions définies.

Rhodium et étain.	$Rh\ Sn$.
Ruthénium étain.	$Ru\ Sn^2$, cubique.
Iridium et étain.	$Ir\ Sn^2$, cubique.
Rhodium et zinc.	$Rh\ Zn^2$.
Platine et zinc.	$Ir^2\ Zn$?
Platine et étain.	$Pt^2\ Sn^3$, cubique.
Platine et zinc..	$Pt^2\ Zn^3$.
Palladium et étain.	Pd^3Zn^2.

CHAPITRE II.

ANALYSES ET ESSAIS DES MINERAIS DE PLATINE.

§ I. *Méthodes d'analyse.*

Les minerais de platine contiennent les éléments suivants : Composition des minerais

1° Sable. C'est le reste d'un lavage qui ne peut jamais être complet. Ce sable contient du quartz, du zircon, du fer chromé, et, dans les minerais russes, beaucoup de fer titané.

2° Osmiure d'iridium. L'osmiure s'observe dans tous les minerais de platine avec les différents aspects que Berzélius a déterminés depuis longtemps dans le platine de Russie et de Colombie : ces plaques brillantes, très-rarement munies de facettes cristallines, ces petites pépites munies d'aspérités que l'eau régale semble avoir creusées quand on les examine dans les résidus, enfin de petites lamelles graphitoïdes qu'on sépare très-bien par le tamis, parce qu'elles sont en même temps de très-petites dimensions. Nous avons toujours trouvé ces trois variétés d'osmiure dans les minerais que nous avons analysés.

3° Du platine, de l'iridium, du rhodium et du palladium qui sont sans doute à l'état d'alliage intime, où l'on ne peut admettre une quantité sensible d'osmium; car la plupart des minerais perdent fort peu d'acide osmique pendant l'attaque à l'eau régale, quoique l'odeur de cette matière se décèle facilement dans les gaz nitreux qui s'échappent du vase où l'on fait l'attaque.

4° Du cuivre, du fer, qui sont à l'état métallique dans le minerai, car le fer qui se rencontre, en outre, dans le sable ne s'y trouve pas à l'état soluble dans les acides.

5° De l'or et, peut-être plus souvent qu'on ne le croit, un peu d'argent. Le chlorure d'argent se dissout très-notablement dans l'eau régale d'attaque et dans le sel ammoniac. Ce ne serait pas dans le résidu insoluble qu'il faudrait le chercher pas plus que dans le platine, mais bien avec le palladium avec lequel on le précipite toujours à l'état de cyanure d'argent. Il est très-rare de se procurer du palladium bien exempt d'argent et même de cuivre, quand on prépare ce métal par les procédés usités jusqu'ici. Cependant nous n'avons pas dosé, et par conséquent nous n'avons *pas trouvé* d'argent dans les minerais dont nous allons donner l'analyse. Mais nous n'affirmons pas qu'il n'y en ait pas des traces.

1° Sable. Pour doser le sable, nous prenons 2 grammes de minerai choisi de telle manière, qu'il représente aussi bien que possible la composition moyenne du lot que l'on examine. On a préparé à l'avance un petit creuset de terre semblable à ceux qui servent à calciner les cornets d'or à la Monnaie, ou bien un petit creuset ordinaire à parois lisses; on y fond un peu de borax, de manière à bien vernir ses parois, et l'on y met de 7 à 10 grammes

d'argent pur et grenaillé, au-dessus, le minerai de platine, puis une dizaine de grammes de borax fondu, et enfin un ou deux petits fragments de charbon de bois. On fond l'argent, en ayant soin de le maintenir quelque temps à une température un peu supérieure à son point de fusion pour que le borax soit bien liquide et puisse dissoudre les matières vitreuses qui accompagnent le platine et qui constituent le sable. On peut d'ailleurs agiter le borax avec un tuyau de pipe. On laisse refroidir, on détache le culot d'argent qui contient l'osmiure et le platine avec toutes les matières métalliques qui l'accompagnent, et au besoin, pour enlever les dernières portions de borax, on le fait digérer avec un peu d'acide fluorique faible. Enfin on le sèche, on le fait rougir faiblement et on le pèse. En retranchant le poids du culot de la somme des poids du minerai et de l'argent employés, on obtient la quantité de sable que contient le minerai.

Ainsi l'on a pris :

	Millig.	
Minerai de Californie.	2.000	9.221
Argent.	7.221	
Après la fusion, le bouton d'argent pesait. . . .	9.162	9.221
Par conséquent, ce minerai contient sable. . . .	59	

Ce nombre est très-important à connaître; il représente la seule matière absolument dénuée de valeur du minerai qui lui-même coûte très-cher, de telle sorte que cette opération si simple peut être considerée comme la plus importante de toutes celles qu'on peut exécuter sur le minerai pour en estimer la richesse; et elle s'exécute avec une telle rapidité, qu'il est bon de la faire en même temps sur plusieurs prises d'essai choisies dans les diverses parties du lot de poudre de platine.

2° Osmiure d'iridium

On dose l'osmiure d'iridium en prenant une seconde fois 2 grammes de minerai pesés avec le plus grand soin, que l'on traite par l'eau régale (1) à la température de 70 degrés (2), jusqu'à ce que la dissolution du platine soit complète. On renouvelle cette eau régale jusqu'à ce qu'après douze à quinze heures de contact elle soit entièrement incolore. Cette opération est très-longue, mais elle ne demande aucune attention. On décante toutes ces liqueurs avec le plus grand soin en regardant bien au fond du vase à précipité dans lequel on fait ces opérations, s'il s'effectue un dépôt visible de paillettes métalliques. Au besoin on filtre, en ne mettant sur le papier que le moins possible de cet osmiure. La dissolution du platine doit se faire dans un vase à précipité très-large (3) que l'on recouvre d'un entonnoir, afin d'empêcher les pertes qui se font avec une facilité désespérante à cause des bulles de gaz développées dans l'eau régale. On lave par décantation la poudre d'osmiure mélangée de sable qui reste après cette attaque, on la pèse après y avoir ajouté ce qu'on a recueilli sur le filtre qu'on brûle (mais en ayant soin d'enlever préalablement tout ce qui n'adhère pas à la surface du filtre avec trop d'énergie). En retranchant de ce poids le poids du sable déterminé dans l'autre opération, on a l'osmiure pur. Ainsi pour le minerai de

(1) L'eau régale dont nous nous servons a été préparée quelque temps à l'avance avec 3 parties en volume d'acide chlorhydrique et 1 partie d'acide nitrique purs et concentrés.

(2) Nous nous servons d'une étuve en bois chauffée par une petite grille à gaz.

(3) Nous employons ces admirables vases cylindriques de Bohême, si communs en Allemagne, et que nous avons fait venir de Prague. La douane française est le seul obstacle qui empêche l'introduction de ces appareils dans nos laboratoires, où ils rendraient de grands services.

Californie dont il a été question tout à l'heure, on a :

	Millig.
Osmiure et sable	81
Sable	59
Osmiure	22

On peut encore employer pour cette opération le bouton d'argent qui a servi à déterminer le sable. Pour cela, on dissout d'abord l'argent dans l'acide nitrique, on lave bien le minerai presque intact qui reste, et on le traite ensuite par l'eau régale avec les précautions que nous venons d'indiquer.

Pour bien comprendre ces deux opérations, il faut savoir que l'argent ne dissout pas l'osmiure d'iridium, mais le mouille parfaitement, de façon que la partie inférieure du culot d'argent le contient tout entier, aussi bien que le minerai de platine qui lui-même ne se dissout pas beaucoup dans l'argent à cause du fer qui en fait partie et que l'argent ne peut s'approprier. L'argent n'est donc qu'un excipient, il sépare mécaniquement l'osmiure d'iridium qu'on retrouve tout à fait intact après cette opération.

On évapore à peu près à sec, à une basse température, la dissolution qu'on vient d'obtenir du minerai brut au moyen de l'eau régale, et on reprend par un peu d'eau qui doit tout dissoudre (sans quoi on ajoute de nouvelle eau régale et on évapore de nouveau), et par de l'alcool pur qui doit occuper deux fois environ le volume de l'eau ; enfin on ajoute du sel ammoniac pur en cristaux et en assez grand excès. On chauffe légèrement pour déterminer la dissolution à peu près complète du sel ammoniac, on agite et on abandonne au repos pendant vingt-quatre heures. Le précipité jaune ou jaune-orangé, ou même couleur cinabre, contient du platine et de l'iridium, mais il en reste encore

3° Platine et iridium.

dans la liqueur. On jette sur un filtre, on lave à l'acool à 75 degrés de Gay-Lussac, on sèche le filtre placé dans un creuset de platine taré dans une étuve, puis on le porte peu à peu au rouge sombre, en l'enfermant, pour plus de sûreté, dans un creuset de platine plus grand; enfin on découvre les creusets et on brûle le filtre à la température la plus basse possible. Une fois ou deux, après l'incinération du filtre, on porte dans le creuset un peu de papier imprégné d'essence de térébenthine qui réduit l'oxyde d'iridium et détermine l'expulsion des dernières traces d'osmium (1) par le procédé exactement semblable à celui qui facilite si bien le grillage des arséniures métalliques. Alors on porte le creuset au blanc jusqu'à ce qu'il ne perde plus de poids, ou mieux on finit la calcination dans l'hydrogène au moyen d'une nacelle de platine, bien entendu le grillage terminé, et la pesée du *platine iridié* ayant été déjà faite. On met alors le platine en digestion dans de l'eau régale étendue de quatre ou cinq fois son poids d'eau, et on la renouvelle sur le platine jusqu'à ce qu'elle ne se colore plus : la digestion s'opère à 40 ou 50 degrés. Le résidu est de l'iridium pur qu'on pèse (2).

La liqueur séparée du *jaune de platine* (chlorure ammonico-platinique) par la filtration est évaporée jusqu'à ce que le sel ammoniac y cristallise en grande quantité, on laisse refroidir, on décante et on recueille sur un filtre une petite quantité d'un sel violet foncé

---

(1) Cette prescription de Berzélius est d'une grande importance : il ne faut jamais la négliger dans des opérations de ce genre.

(2) *Vérification :* Peu fusible au feu du petit chalumeau (*fig.* 3, Pl. I) à gaz tonnants, pas d'odeur d'osmium, métal fondu blanc et cassant, sans traces d'irisation à la surface.

qui n'est autre chose que du chlorure iridico-ammonique mêlé avec un peu de sel de platine (1). On le lave d'abord avec une solution de sel ammoniac, puis avec de l'alcool. Ce sel est calciné, puis pesé après réduction par l'hydrogène, si c'est nécessaire (2), en suivant toutes les prescriptions que nous venons de donner pour le jaune de platine. Cet *iridium platiné* est mis en digestion dans le même vase que le platine iridié avec de l'eau régale, et on pèse ensemble les résidus d'iridium après une forte calcination de la matière insoluble. On obtient le poids du platine en retranchant ce dernier poids des poids du platine iridié et de l'iridium platiné. Cette méthode est très-sûre, à condition que l'on n'emploiera pour la séparation de ces deux métaux que de l'eau régale faible et un contact prolongé de celle-ci. La quantité d'iridium entraîné est tout à fait négligeable.

4° Palladiu fer et cuiv

La liqueur chargée de sel ammoniac et d'alcool, débarrassée du platine et de l'iridium, est dépouillée d'alcool par la chaleur, de chlorhydrate d'ammoniaque par l'acide nitrique en excès qui le transforme en azote et acide chrorhydrique, et enfin évaporé presque à sec. Alors elle est transportée dans un creuset de porcelaine verni et muni de son couvercle et qu'on pèse avec le plus grand soin. Quand la matière est sèche, on l'arrose avec du sulfhydrate d'ammoniaque concentré, et on

(1) Quand l'alcool est chassé par la chaleur, il est bon de mettre quelques gouttes d'acide nitrique dans la liqueur pour mieux peroxyder l'iridium.

(2) Quand on ne chauffe pas fortement l'iridium, il retient du chlore ou de l'iridium, mais on ne risque pas de former un alliage de platine et d'iridium que l'eau régale ne sépare plus facilement. La réduction par l'hydrogène, conseillée par Berzélius et par M. Claus, est donc une bonne méthode.

la saupoudre avec 2 à 3 grammes de soufre pur (1). Le creuset, après dessiccation, est enfermé dans un creuset de terre plus grand (2) et entouré de gros fragments de charbon de bois qui le soutiennent de tous côtés et le recouvrent. Le creuset de terre et son couvercle sont introduits dans un fourneau qu'on remplit de charbon froid jusqu'en haut et qu'on allume par la partie supérieure. On évite ainsi toute projection de la matière analysée, si l'on chauffait trop brusquement. Le creuset étant au rouge vif, on le laisse refroidir et on pèse le creuset de porcelaine (3).

Le creuset contient le palladium à l'état métallique du sulfure de fer, Fe^2S^4, du sulfure de cuivre, Cu^2S (4), en outre de l'or et du rhodium. On arrose la matière avec de l'acide nitrique concentré qui dissout, après une digestion prolongée à 70 degrés, le palladium, le fer et le cuivre, en produisant un peu d'acide sulfuri-

---

(1) Cette méthode nous a été suggérée par l'excellent mode de dosage du cuivre proposé par M. Rivot.

(2) Nous mettons notre creuset de porcelaine dans un creuset de charbon de cornues et celui-ci dans un creuset de terre ordinaire. Nous ne saurions trop recommander aux chimistes l'emploi de ces vases en charbon, si précieux dans une foule de cas, et dont on trouvera la description dans les *Annales de chimie et de physique*, t. XLVI, p. 194. Aujourd'hui les marchands de verrerie et de produits chimiques de Paris en vendent tous. Il est donc très-facile de s'en procurer. Ils remplacent les creusets brasqués et ne se laissent pas imprégner par les flux, de sorte qu'ils peuvent servir très-souvent et permettent une foule d'opérations qui, sans eux, seraient impossibles, en particulier dans le traitement des fluorures.

(3) Ce poids n'est pas indispensable, mais il peut servir surtout en cas d'accident dans le reste de l'analyse.

(4) Les sulfures des métaux du platine sont décomposables par la simple action de la chaleur, le soufre sert donc ici de réducteur. De plus, en s'unissant au fer et au cuivre, il empêche tout alliage *soluble* de ces métaux avec le rhodium, que l'on peut désormais séparer par les acides avec la plus grande sécurité.

que. On lave autant que possible par décantation après avoir séparé les nitrates qu'on évapore à sec et qu'on calcine au rouge (température un peu plus élevée que la fusion du zinc). Le palladium se réduit, le fer et le cuivre passent à l'état d'oxydes, qu'on sépare facilement au moyen de l'acide chlorhydrique peu concentré. Le palladium reste dans la capsule de platine où on a fait la calcination, on le rougit fortement et on le pèse.

Le fer et le cuivre sont à l'état de chlorures au maximum, on les évapore à sec à une température à peine plus élevée que 100 degrés, et on les reprend par l'ammoniaque. Le sesquichlorure de fer a perdu presque tout son acide et il est devenu insoluble, le chlorure de cuivre est resté intact ou s'est transformé en sous-chlorure soluble dans l'ammoniaque, dont la présence garantit contre tout entraînement de sesquioxyde de fer. Celui ci étant très-compacte se lave facilement et ne retient pas de cuivre par affinité capillaire. On sèche le sesquioxyde de fer et on le calcine (avec le filtre sur lequel on a décanté, quand cela est nécessaire) dans le vase de platine où on a fait la séparation, et on pèse (1).

La solution cuivreuse bleue est évaporée presque à sec, mêlée à de l'acide nitrique en excès et chauffée, ce qui chasse entièrement le chlorhydrate d'ammoniaque. On évapore ensuite le nitrate dans un creuset de platine, on calcine et on pèse. Le poids du cuivre est toujours assez faible pour qu'on puisse négliger l'eau hygrométrique que peut absorber l'oxyde de cuivre (2).

---

(1) *Vérification:* Le peroxyde de fer, traité par l'acide muriatique fort, se dissout entièrement, à moins qu'il ne contienne des traces de palladium qu'on lave et qu'on pèse immédiatement après calcination. Le zinc pur ne précipite rien dans la dissolution de fer.

(2) *Vérification*: L'acide muriatique faible dissout à froid

tent notre milligramme. Il aurait été plus convenable de ne donner que trois chiffres. Nous avons cédé, en cette circonstance, à l'habitude qu'ont prise à cet égard les chimistes, à tort selon nous.

MATIÈRES.	COLOMBIE.			CALIFORNIE.		
	1	2	3	4	5	6
Platine	86,20	80,00	76,82	85.50	79,85	76,50
Iridium	0,85	1,55	1,18	1.05	4.20	0,85
Rhodium	1,40	2,50	1,22	1,00	0,65	1,95
Palladium	0.50	1,00	1,14	0,60	1,95	1,30
Or	1,00	1,50	1,22	0,80	0,55	1,20
Cuivre	0,60	0,65	0,88	1,40	0,75	1,25
Fer	7,80	7,20	7,43	6.75	4,45	6,10
Osmiure d'iridium	0,95	1,40	7,98	1,10	4,95	7,55
Sable	0,95	4,35	2,41	2.95	2,60	1,50
Plomb?	»	»	»	»	»	0.55
Osmium et perte	»	»	»	»	0,05	1,25
	100,25	100,15	100,28	101,15	100,00	100,00

MATIÈRES.	ORÉGON.	ESPAGNE	AUSTRALIE.		RUSSIE.	
	7	8	9	10	11	12
Platine	51,45	45,70	59.80	61.40	77,50	76,40
Iridium	0,40	0,95	2,20	1,10	1,45	4,30
Rhodium	0,65	2.65	1,50	1,85	2.80	0,30
Palladium	0,15	0,85	1.50	1 80	0.85	1,40
Or	0,85	3.15	2.40	1,20	(a)	0,40
Cuivre	2,15	1,00	1,10	1,10	2,15	4.10
Fer	4,30	6.85	4, 0	4.55	9.60	11.70
Osmiure d'iridium	37,30	2.85	25,20	26,00	2,[illegible]5	0,50
Sable	3,00	35,95	1,20	1,20	1,00	1,40
Osmium et perte	»	0,05	0,80	»	2,30	»
	100,25	100,00	100,00	100,20	100,00	100,50

(a) Or, s'il y en a, compté avec la perte.

Nos 1, 2, 3. Les minerais de Choco, appelés vulgairement minerais de Colombie, ont un aspect qui leur est commun avec les minerais de l'Orégon, de la Californie et de l'Australie. Ce sont en général de petites lames aplaties et brillantes, dans lesquelles on observe

de l'or un peu vert qu'il ne faut pas confondre avec des lames de mica qui souvent y ressemblent beaucoup; le minerai de Colombie contient peu de sable, surtout celui qu'on apporte aujourd'hui et qui est mieux lavé. On remarquera qu'en défalquant le sable et l'osmiure d'iridium, la composition de ces minerais varie peu pour la teneur en platine.

Le n° 1 est un minerai arrivé récemment, que nous a remis M. Chapuis.

Le n° 2 nous a été remis par M. Chapuis, il y a près de deux ans.

Le n° 3 vient de la collection de M. Damour, qui le possède depuis un très-long temps.

Les minerais de Californie et de l'Australie ont à peu près le même aspect que le minerai de Choco.

N° 4. Échantillon appartenant à la collection de l'École des mines, remis par M. de Senarmont.

N° 5. Échantillon du commerce remis par M. Chapuis.

N° 6. Échantillon appartenant à l'École normale : il avait été traité par l'acide muriatique bouillant avant d'être analysé, ce qui ne l'avait altéré en rien.

N° 7. Minerai de l'Orégon (École des mines, remis par M. de Senarmont), plus gris que les autres; cependant, à la loupe, l'aspect est le même. Des grains de quartz et du fer chromé et titané paraissent composer le sable. Cet échantillon est remarquable par la quantité considérable d'osmiure d'iridium qu'il contient, sans cela il serait très-riche en platine.

N° 8. Le minerai que nous désignons sous le nom de minerai d'Espagne vient de la collection de M. Damour. C'est un minerai mal lavé, mal dépouillé d'or et qui, en faisant abstraction du sable qu'il contient, est très-riche en platine et surtout en rhodium. On a alors pour sa composition, en le supposant bien lavé :

Platine	71,4
Iridium	1,5
Rhodium	4,1
Palladium	1,3
Or	4,9
Cuivre	1,7
Fer	10,7
Osmiure d'iridium	4,4
	100,0

La proportion considérable de rhodium que contient ce minerai le rapproche d'une matière que Berzélius a examinée et analysée sous le nom de *minerai de Barbacoas*, province d'Antioquia.

N°s 9 et 10. Minerai d'Australie. Il est remarquable que les minerais d'Orégon et d'Australie, qui ne fournissent encore qu'une faible portion de platine au commerce, contiennent des proportions considérables d'osmiure d'iridium, 37, 25 et 26 p. 100. Cela provient-il de la manière dont le lavage s'effectue ou de la nature des premiers gisements qu'on exploite? Ce qu'il y a de curieux, c'est qu'un minerai de Californie dont M. Chapuis ne possède qu'un échantillon régulièrement étiqueté qu'il m'a remis, est de l'osmiure d'iridium presque pur ; il contient en effet :

Osmiure d'iridium inattaquable	96,5
Sable	3,5
	100,0

Les minerais actuels de Californie ont une autre composition, comme on le voit d'après notre tableau.

N° 11. Minerai russe, couleur gris foncé : à la loupe il est composé de petites pépites ressemblant beaucoup aux grains d'or; il semble que ces grains, à cause de leur dureté, ont moins souffert de leur transport dans les sables où on les trouve. Le sable est composé de fer

titané, de fer chromé, de quartz et de zircons principalement. C'est du minerai de Nijni-Tagilsk : il nous a été remis par M. Chapuis.

N° 12. Minerai ordinaire de la Monnaie de Russie : même aspect que le précédent, sauf que l'on y trouve de gros grains hérissés de pointes et comme fouillés à l'intérieur. Ce beau minerai nous a été envoyé par M. de Gerngross ; notre analyse nous permet de rapporter son origine à la même localité que le n° 11, ce qui est exact comme nous l'avons su depuis. Il ne manque plus à notre tableau que l'analyse du minerai de Goro-Blagodat que nous donnons ici d'après M. Claus (1) et du minerai de Bornéo d'après M. Bleekerode (2) :

	Goro-Blagodat.		Bornéo.
Platine	85,97		70,21
Iridium	0,98		6,13
Rhodium	0,96		0,50
Palladium	0,75		1,41
Osmium	0,54		1,15
Fer	6,54		5,80
Cuivre	0,86		0,34
Chaux (3)	0,50	Or	3,97
Portions insolubles dans l'eau régale	1,60	Oxyde de fer	1,13
Perte	1,30	Oxyde de cuivre	0,50
		Osmiure et sable	8,86
	100,00		100,00

On remarquera que nous conseillons de n'opérer que sur 2 grammes l'analyse des minerais de platine. Ce Poids des matières de l'analyse

(1) *Beiträge zur chemie der platinmetalle.* Dorpat, 1854.

(2) *Annales de Poggendorff*, t. CIII, p. 656. Ce minerai est accompagné de topaze, zircon, corindon? diamant, quartz, feldspath.

(3) Nous n'avons jamais trouvé de chaux dans aucun des minerais que nous avons examinés. Vient-elle de l'attaque d'un grenat qui accompagnerait le minerai? Elle n'est certainement pas à l'état de calcium dans les grains eux-mêmes.

conseil, donné déjà par Berzélius, nous semble très-important, parce qu'il est bon, dans les évaporations que l'on a à faire, de n'avoir qu'une petite quantité de liqueur et des vases commodes à manier; et les volumes de ces liqueurs sont évidemment proportionnels aux quantités de matière employées à l'analyse. Nous avons opéré quelquefois sur 5 grammes de matière, et l'analyse a été plus longue, plus pénible, sans présenter de plus grandes garanties de précision.

Composition du lot d'analyse.

Le plus difficile peut-être, et ce sur quoi nous recommandons la plus grande attention, c'est la composition de la masse que l'on soumet à l'analyse et qui doit être prise de telle sorte, qu'elle représente bien la composition moyenne du minerai.

Danger des vapeurs chloronitriques.

Qu'il nous soit permis, en terminant cet article, de donner un conseil aux personnes qui voudraient s'occuper de pareilles recherches. On se méfie beaucoup des mauvais effets de l'osmium qui attaque surtout les yeux, mais il faut aussi se garantir avec le plus grand soin de l'action lente des vapeurs d'eau régale, qui s'exerce surtout sur les muqueuses de l'appareil respiratoire. L'odeur du chlore est tellement suffocante, qu'on ne peut supporter un instant sa présence, qui par suite n'est pas très-dangereuse; mais il n'en est pas de même de l'acide nitreux et de l'acide chloronitrique, auxquels on peut s'habituer si bien, qu'il devient possible d'en respirer de grandes quantités mélangées avec l'air sans en souffrir momentanément : ces vapeurs finissent par provoquer des laryngites très-fatigantes, surtout parce qu'elles ont un caractère chronique qui en rend la guérison difficile.

§ II. — *Essai des minerais de platine.*

On enlève l'or avec du mercure bouillant en petites quantités, par lequel on traite le minerai pendant quelques heures. On lave avec du mercure chaud et pur, on réunit le mercure qu'on distille dans une petite cornue en verre. Le résidu chauffé au rouge et pesé donne l'or ou presque tout l'or du minerai. On peut également traiter le minerai par de l'eau régale faible, évaporer la liqueur dans un creuset de porcelaine taré, calciner et peser. Le premier procédé donne un minimum, le second un maximum : mais le premier nombre se rapproche plus souvent du chiffre exact de la teneur en or que le second. Cependant ils sont toujours suffisamment exacts. On opère sur 10 grammes : les minerais américains donnent ordinairement de 60 à 110 milligrammes d'or, ce qui fait en moyenne 1 pour 100. Mais par le mercure on en perd toujours une petite quantité dans les lavages et pendant la distillation, si on n'opère avec une grande prudence. C'est pourtant le mode de dosage que nous conseillons. 1° Or.

Nous avons déjà décrit le procédé par l'argent qui nous sert à déterminer le sable : nous renvoyons à l'article correspondant de l'analyse des minerais, page 56. 2° Sable.

Les impuretés de la mine, en outre du sable, consistent principalement en fer et osmiure d'iridium. Les autres métaux, palladium, rhodium et iridium, forment une somme à peu près constante, toujours comprise entre 4 et 5 pour 100 : de façon qu'il suffira de connaître la somme des quantités de ces métaux contenue dans la mine de platine, pour avoir la composition du minerai lui-même. Nous ne tiendrons compte dans la suite que de 4 pour 100, parce que le palladium se volatilise dans 3° Platine

les opérations de fusion que nous faisons subir au platine avant de le peser.

Attaque par la galène.

On prend 50 grammes de minerai choisi de telle manière, qu'il représente la composition moyenne du lot; on le fait fondre dans un creuset ordinaire avec 75 grammes de plomb pauvre et 50 grammes de galène pure, bien cristallisée. On met 10 à 15 grammes de borax et l'on pousse le feu jusqu'au rouge de la fusion de l'argent; on agite de temps en temps avec un tuyau de pipe, et l'on ne cesse de chauffer que lorsque tous les grains de platine ont disparu dissous dans le plomb et qu'ils cessent de se présenter sous le tuyau de pipe. On ajoute alors une cinquantaine de grammes de litharge, en poussant toujours la température et ne mettant que peu à peu la litharge, au fur et à mesure de sa réduction et jusqu'à ce qu'elle soit en excès, ce dont on s'aperçoit à la nature de la scorie qui attaque le tuyau de pipe et à la cessation du dégagement d'acide sulfureux. On laisse refroidir lentement, on casse le creuset, on détache la scorie qui doit être plombeuse et chargée de fer, et on nettoie bien le culot, qui doit peser environ 200 grammes. Pour bien comprendre cette opération, il faut savoir que le minerai de platine, plus ou moins ferrugineux, ne se dissout que très-lentement dans le plomb : on l'attaque ici par une matte plombeuse qui transforme le fer en sulfure et facilite la combinaison du plomb et du platine, l'alliage formé allant aussitôt au fond du creuset. Le fer et le cuivre se sulfurent et passent dans la scorie, et l'osmiure d'iridium insoluble dans le plomb, mais susceptible d'être mouillé par lui, va au fond et reste dans le culot. En ajoutant de la litharge, on détruit la galène et le sulfure de fer : il se forme du plomb et des oxydes qui sont absorbés par le borax.

Quand le culot est bien nettoyé, on le pèse, puis on scie la partie inférieure, qui doit faire à peu près le dixième du poids du culot et que l'on pèse. On recueille la sciure, on broie la partie supérieure du culot, cristallisée et très-cassante, on y ajoute la sciure de plomb platinifère; on mélange bien: on pèse encore. Il est clair qu'à moins de perte ces deux poids doivent faire une somme égale au poids du culot tout entier. On prend alors de la poudre de plomb platinifère, une quantité telle, qu'elle représente le neuvième du poids total du culot, on coupelle cette matière par les procédés que nous allons décrire, et on pèse le platine après l'avoir fondu. Il est évident qu'en multipliant par 10 le poids du bouton, on a la quantité de platine qui existait dans le minerai. Coupellation du plomb platinifère.

En coupant à sa partie inférieure le culot de plomb platinifère, on enlève tout l'osmiure d'iridium qui s'y est déposé. En broyant la partie supérieure du culot avant d'en coupeller une partie, on rend la prise d'essai homogène et de même composition que la masse totale sujette à liquation. En prenant pour le coupeller le neuvième du poids total du culot, coupellant et multipliant par 10 la quantité de platine obtenue, pour avoir le platine total, on suppose que la composition du culot est la même partout, et on ne néglige que le poids de l'osmiure d'iridium qui existe à la partie inférieure. Si on veut éviter cette cause d'erreur, on peut agir autrement.

On traite la partie inférieure par dix fois son poids d'acide nitrique ordinaire qu'on étend de son volume d'eau. On chauffe, et bientôt tout le plomb est dissous. Si l'opération a bien réussi, on ne doit avoir que de l'osmiure et du platine en poudre très-fine, sans qu'il s'y rencontre aucun grain de platine (on sait que l'os- Séparation de l'osmiure.

miure peut aussi se présenter en grains, mais l'eau régale permettra, une fois l'opération finie, de constater la composition des grains, si l'on en trouve). On lave avec le plus grand soin, d'abord avec de l'eau acidulée et ensuite avec de l'eau pure et chaude. Ces lavages se font par décantation. On sèche à l'étuve et on pèse, puis on traite par l'eau régale (1), qui dissout en un instant le platine pulvérulent, et on pèse encore, après lavage, l'osmiure restant. Ces deux poids donnent en même temps le platine du culot et l'osmiure d'iridium. Nous conseillerons toujours de terminer l'essai d'un minerai de platine par cette opération, qui exige à peine quelques heures et peu d'attention : elle est très-instructive, attendu que la proportion de l'osmiure est souvent très-importante à constater, surtout pour les minerais peu répandus dans le commerce.

Connaissant la teneur du minerai en platine, on retranche 4 p. 100 (2) du nombre obtenu et l'on a, à 1 ou 2 centièmes près, la composition du minerai dont on fait l'essai. Nous devons dire que les méthodes d'analyse les plus pénibles et les plus exactes ne donnent pas une approximation beaucoup plus grande.

emple. Nous avons fait un grand nombre d'essais sur le minerai russe, le seul dont nous ayons eu une grande quantité à notre disposition, et nous avons trouvé 80 p. 100 pour la proportion du platine allié qu'il renferme, et en enlevant 4 p. 100 pour l'iridium et le rhodium, on tombe sur le chiffre 76 p. 100, qui convient

(1) On peut encore tamiser la poudre au travers d'un tissu de soie extrêmement serré. Le platine passe au travers des mailles, et l'osmiure d'iridium, en grains ou en paillettes, reste sur le tamis.

(2) A la rigueur, on devrait enlever 4 ½ p. 100. Mais en tenant compte des pertes inévitables de l'opération, on est plus près de la vérité en retranchant seulement 4 p. 100.

bien effectivement aux minerais de platine de cette provenance, et qui est d'ailleurs justifié par l'analyse que nous en avons donnée.

§ III. — *Coupellation du platine.*

L'alliage de platine et de plomb se fait avec une facilité extrême, pourvu que le platine soit bien dépouillé de fer. Un alliage très-dur et très-cassant qui ne fond guère qu'à la température de fusion de l'argent contient :

Platine	78,3
Plomb	21,7
	100,0

Il se coupelle facilement dans un moufle chauffé à la température des essais d'or, et quand on pousse le feu jusqu'au rouge vif de l'ébullition du zinc, il se transforme en une masse spongieuse exsudant encore un peu de litharge, mais ne contenant plus que 6 à 7 p. 100 de plomb. Pour obtenir un pareil résultat, il faut griller l'alliage pendant très-longtemps.

La coupellation du platine, pour obtenir sa séparation complète du plomb et son dosage par la voie sèche, peut se faire par deux méthodes.

1° Coupellation avec l'intermédiaire de l'argent.

Rien n'est plus simple que de doser directement le platine par la coupellation, en ajoutant à l'alliage cinq à six fois environ autant d'argent qu'on suppose de platine dans l'alliage. On remet au besoin du plomb, on coupelle, et l'on pèse le bouton. L'excès de poids du bouton sur l'argent ajouté donne le poids du platine. Cette opération donne toujours une petite perte d'argent par volatilisation, parce qu'il faut coupeller à la température des essais d'or. Mais nous avons constaté que pour des essais de minerai, cette perte est tout à fait insignifiante. Si l'on veut, il est facile de dissoudre

dans l'acide sulfurique le bouton d'argent, ce qui donne le platine comme résidu.

urneau ufle chauffé flamme.

Nous nous servons de préférence pour nos coupellations d'un fourneau dont les moufles chauffés par la flamme d'un four à réverbère peuvent être amenés à une température extrêmement élevée sans que les parois du moufle soient détruites par les cendres du combustible, ce qui arrive très-promptement quand on veut pousser au delà d'une certaine limite la température dans les fourneaux à coke. Ces chauffages à la flamme sont si parfaits pour la conservation des moufles, qu'un fourneau de ce genre, tel que nous allons le décrire, a été employé chaque jour de l'hiver depuis deux ans, servant au chauffage du laboratoire, aux calcinations de toute espèce, aux coupellations à température élevée, sans que l'on ait eu à changer les moufles qui promettent encore un long service. Le four dont nous nous servons n'a que deux moufles, mais on en peut mettre évidemment un plus grand nombre.

La *fig.* 4 nous dispense d'une bien longue description. L'autel A, qui sépare le foyer du réverbère où sont les moufles, doit avoir au moins 20 centimètres d'épaisseur, quand le fourneau doit servir souvent. Il sépare le foyer F (dont la grille doit avoir la même longueur que les moufles et une largeur deux fois plus grande environ), et le premier moufle M placé dans le réverbère de telle façon, que l'espace F compris entre le dôme du moufle et la voûte du réverbère ait au plus $1\frac{1}{2}$ à 2 centimètres; l'espace E est environ de 3 à 4 centimètres, variant d'ailleurs avec la surface de la grille. Si l'on ne prend pas cette précaution, les moufles chaufferont plus en haut qu'en bas. Au contraire, pour le second moufle, les deux espaces I et J doivent être égaux, afin que l'espace compris entre les deux moufles

se remplisse en partie de la flamme qui tend à monter. Les moufles reposent sur les parties latérales de la maçonnerie du fourneau de manière à s'encastrer dans un petit cintre en briques qui laisse béante leur ouverture de chaque côté du fourneau. On ferme ces deux ouvertures imparfaitement avec une porte en terre, même pendant la coupellation. Mais on a eu soin de percer dans les parois du moufle à sa partie moyenne, et près de son fond, un trou O de 2 à 3 centimètres de diamètre, muni d'un bouchon en terre et qui, lorsqu'il est ouvert, fait un appel de l'air extérieur, active la combustion du plomb, et entraîne dans la cheminée les vapeurs de litharge et d'acide osmique provenant des osmiures. Les moufles employés dans notre four sont des demi-cylindres dont la base a 12 à 15 centimètres de diamètre. Leur longueur est de 35 centimètres. Le foyer possède un registre R en terre réfractaire, et la houille se charge par une ouverture ménagée à la partie antérieure du foyer et en avant de laquelle est un petit tablier en tôle à bords relevés sur lequel on accumule le combustible en forme de talus. Ainsi la houille ferme elle-même l'ouverture par laquelle on la fera pénétrer plus tard dans le foyer.

2° Coupellat[ion] simple.

Nous employons dans les essais de platine une méthode qui donne directement le platine à l'état de métal fondu et maniable, et permette d'en reconnaître les propriétés physiques. C'est celle qui nous réussit le mieux; d'ailleurs, puisque nous proposons une nouvelle métallurgie du platine, il est naturel que nous préférions les modes d'essai qui se rapprochent le plus des procédés de fabrication.

Coupellati[on] prélimina[ire].

Le plomb platinifère est d'abord introduit dans des coupelles ordinaires de grandes dimensions, parce que presque toujours on opère sur de grandes quantités de

plomb et de platine. Dans le moufle bien chauffé d'un fourneau de coupelle ordinaire, on arrive facilement à amener l'alliage à l'état solide, et le platine encore plombifère se montre sous la forme d'une masse étalée en forme de chou-fleur qui se détache avec assez de facilité du fond de la coupelle quand on a mouillé celle-ci pendant qu'elle est encore rouge.

Coupellation au chalumeau avec l'oxygène.

Mais il ne faut pas en général détacher cette masse coupellée : pendant qu'elle est rouge, on la soumet à l'action du chalumeau représenté dans la *fig.* 3, en ayant soin de donner peu d'hydrogène et beaucoup d'oxygène en excès. De cette manière on ne chauffe pas la masse d'une manière excessive, mais on la fond partiellement et surtout on l'oxyde avec une grande rapidité. Si la coupelle n'est pas gorgée de litharge, elle absorbe bien celle qui se produit aux différents points de la masse qu'on échauffe successivement. Nous préférons effectuer cette opération intermédiaire avec un petit instrument très-commode (*fig.* 2), qui est d'ailleurs à très-peu près le chalumeau que nous avons employé déjà, mais monté sur un pied ou support par où arrive le gaz combustible traversant un robinet H. Le chalumeau muni de son bout de platine K, de sa vis de pression P et du robinet O, est mobile dans un plan vertical parallèlement à la ligne AB, qui indique la ligne de séparation de deux tubes de cuivre qui entrent l'un dans l'autre et qui permettent le mouvement de l'appareil sans intercepter l'arrivée du gaz combustible. En O on fait arriver soit de l'oxygène, soit même un mélange à à volumes égaux d'air et d'oxygène qui suffit bien à ces sortes d'opérations. Quand on a enlevé ainsi la plus grande partie du plomb de l'alliage de platine, on le détache de la coupelle d'os et on le transporte sur une autre coupelle de même forme taillée grossièrement

dans un morceau de chaux. On chauffe alors peu à peu la masse qui fume très-fortement; enfin on fond le platine dans un feu oxydant, on le rassemble en un seul globule en faisant tourner la coupelle, et on le laisse refroidir. Il faut éviter avec soin les projections qui arriveraient au commencement de l'opération si l'on chauffait trop vite et si l'on brûlait trop rapidement les dernières traces de plomb. On sépare le culot de platine, on le nettoie dans l'acide muriatique bouillant, et on le pèse. Il faut avoir soin d'enlever à la surface de la coupelle la chaux sous une épaisseur d'un millimètre, de dissoudre cette chaux dans de l'acide muriatique contenu dans une capsule de platine, laver, mouiller avec un peu de potasse ou d'acide fluorique pour dissoudre la silice, et chercher, au moyen de la loupe, s'il y a de petits globules. Quelquefois on en trouve, et alors le poids du platine ainsi recueilli est très-sensible. En opérant sur un bouton de 5 à 6 gram. de platine, on est sûr que la perte ne va jamais à 1 centigramme, si l'on opère avec quelque précaution, et surtout si l'on a acquis l'habitude de manier le chalumeau : même il nous arrive souvent de coupeller directement des alliages pauvres en platine avec la flamme du chalumeau alimenté avec de l'air et au moyen d'une coupelle d'os pour commencer. A la fin on emploie l'oxygène et la coupelle de chaux.

Ainsi, dans une même opération, on prend : Exemple d'analyse

Alliage de platine et de plomb. . . .	24,30	
Mêlé avec argent.	25,30	
La coupellation donne un alliage d'argent et pesant.	28,75	
d'où platine.		3,45
La coupellation directe donne un bouton d'alliage de plomb pesant, . .	24,30	
qui, fondu au chalumeau à gaz tonnants, devient.		3,45

Avec un peu d'habitude, l'emploi du chalumeau à gaz tonnants, que nous préférons, donne des résultats d'une grande exactitude et qui permettent de juger la qualité du platine sur lequel on opère.

Exemple. Le platine de Russie sur lequel nous avons opéré nous a donné un rendement moyen de. . 80 p. 100
d'où, en retranchant les métaux du platine qui s'y trouvent. . . . . 4 p. 100
on trouve la proportion déjà déterminée. 76 p. 100

En attaquant la partie inférieure du culot métallique par l'acide nitrique, on a obtenu osmiure d'iridium. . . . . . . 1,25 p. 100
de sorte que la composition du minerai établie par l'essai est celle-ci :

Platine.	76,0
Métaux du platine.	4,0
Osmiure d'iridium.	1,2
Sable.	1,4
Fer, cuivre, p. d.	17,4
	100,0

§ IV. — *Essai des résidus de platine.*

Espèces diverses de résidus. Les résidus de la fabrication du platine diffèrent essentiellement, suivant qu'ils proviennent exclusivement du traitement des minerais de l'Oural, comme ceux qui sont obtenus à la Monnaie de Russie, ou des minerais de Colombie, comme ceux des fabriques de Londres et de Paris. Ces résidus bruts sont noirs, tachant les doigts comme la plombagine (à cause de l'iridium ou de l'oxyde d'iridium qui s'y trouve), quand ils proviennent des minerais de l'Oural ; ils sont d'une couleur plus claire quand ils sont le résidu du traitement des minerais américains. Il existe, en outre, une troisième

sorte de résidus composée des métaux cuivre, fer oxydé, platine, métaux du platine qui sont précipités par le fer métallique des liqueurs dont on a séparé le platine et le palladium dans le traitement du minerai. Nous appellerons ces matières des *résidus précipités*, et aux premières nous donnerons le noms de *résidus insolubles*. Nous verrons que leur composition est très-différente.

Ces résidus contiennent de tous les métaux du platine, mais en particulier de l'osmiure d'iridium et du sable en quantités très-variables. Pour en faire l'essai, voici comment on s'y prend. **1° Résidus insolubles**

On pèse 50 grammes de résidus, on les mélange avec 150 à 200 grammes de litharge (plus ou moins, suivant la quantité de sable qu'il faut dissoudre) et 50 à 100 grammes de plomb pauvre, suivant la proportion de l'osmiure d'iridium dans les résidus. On met le plomb au fond d'un petit creuset, puis le mélange de litharge et de résidus, enfin à la partie supérieure de la litharge pure. On fond et on maintient au rouge pendant une demi-heure : la masse doit être bien liquide, et on l'agite de temps à autre avec un tuyau de pipe. On retire le creuset du feu, on le laisse en repos jusqu'à refroidissement complet; on sépare la scorie du culot métallique qu'on plonge pendant quelques heures dans de l'acide acétique chaud pour enlever la litharge adhérente; on le brosse avec une brosse dure.

Le culot est mis alors dans de l'acide nitrique étendu de son volume d'eau, et on dissout le plomb à la temrature de 100 degrés environ. On décante la liqueur acide, on y ajoute peu à peu de l'acide sulfurique de manière à précipiter l'oxyde de plomb aussi exactement que possible, en mettant pourtant un petit excès d'acide **Palladium**

sulfurique, on évapore à sec (1) à peu près en n'employant pas à la fin de l'opération une température supérieure à 120 degrés. On reprend ensuite par l'eau et on précipite le palladium à l'état de cyanure palladeux dans la liqueur acide. Car nous avons remarqué que l'acide nitrique et l'acide sulfurique, même à un état assez grand de concentration, ne mettent pas, comme l'acide chlorhydrique, obstacle à la précipitation du cyanure de palladium. Le cyanure du palladium calciné donne du palladium que l'on pèse.

Osmiure d'iridium. On lave avec le plus grand soin la matière qui a résisté à l'action de l'acide par l'eau bouillante chargée d'acide nitrique ; on la sèche, on la pèse (poids A). Puis on la traite par l'eau régale, qui dissout très-rapidement du platine, un peu d'iridium et du rhodium. On sépare la matière non dissoute, on la lave avec soin, on sèche, et l'on pèse (poids B). C'est de l'osmiure d'iridium.

Platine et iridium. La liqueur séparée de l'osmiure est composée en grande partie de platine. On peut avoir le poids de ce platine en retranchant le poids B du poids A ; mais il est plus exact de retirer le platine de la liqueur rouge qui provient de l'action de l'eau régale et de le peser. Pour cela on évapore cette liqueur après y avoir mis une goutte d'acide sulfurique pour séparer le plomb qu'on peut y avoir laissé, on évapore presque à sec, on reprend par l'eau alcoolisée et on traite par le sel ammoniac. Le platine se sépare d'abord à l'état de précipité jaune, puis on en retrouve encore mêlé à de l'iridium en évaporant la liqueur alcoolique ; on calcine ces deux précipités, on les pèse, on sépare le platine par l'eau régale faible, et enfin on pèse l'iridium res-

(1) En distillant, si on veut retrouver l'acide nitrique.

tant. On prendra d'ailleurs dans ces circonstances les mêmes précautions que s'il s'agissait de l'analyse du minerai. Nous renvoyons donc pour cet article à la page 61 de ce mémoire.

Rhodium

Le rhodium se dose en évaporant à sec, dans un creuset de porcelaine taré, la liqueur dont on vient de séparer le platine et l'iridium, mouillant le résidu avec du sulfhydrate d'ammoniaque, ajoutant quelque grammes de soufre, et chauffant le creuset de porcelaine dans un creuset à enveloppe réductrice (voir les pages 72 et 73 de ce mémoire). On pèse le rhodium qui reste.

Mais en général toutes ces opérations ne sont pas indispensables, à cause de la petite quantité de rhodium et d'iridium qui se dissout dans l'eau régale et qu'on peut négliger. Il suffit de doser le palladium et le platine, et l'on fait entrer les autres métaux dans la perte. Il arrive même quelquefois que la coloration de l'eau régale est si faible, qu'on juge la quantité de platine négligeable, et on n'a plus qu'à peser l'osmiure, qui est la matière la plus importante à déterminer. Voici les résultats de quelques analyses faites sur des matières très-diverses.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Osmiure d'iridium	12.35	34,00	29,15	92,50	96,10	91,20	26,60	83,60	60,10
Palladium	0,18	0,00	0,003	0,02	0,02	0,02	0,70	0,00	0,37
Platine et traces d'iridium	0 53	0,00	0,90	0,78	0,18	0.86	7,00	0.00	2,14
Rhodium	0.15	0.00	0,13	0,10	0,20	0,88	0,20	0,00	1,36
Sable	86,79	66,00	69,82	6,60	3,50	4,04	65.50	16,40	36,03 (a)
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

(a) Avec des métaux communs et en particulier de l'argent.

N° 1. Résidu brut de la dissolution du minerai de l'Oural, obtenu à la Monnaie de Russie et envoyé par le géné-

ral Samarski. Osmiure en paillettes larges et dures, en paillettes fines, légères et miroitantes, en petites pépites à surface très-irrégulière, enfin en grains ronds et brillants, le tout mêlé à de l'oxyde d'iridium pulvérulent et graphitoïde. Le sable se compose principalement de fer oxydulé titanifère, de fer chromé, de quartz et de petits zircons d'une couleur rouge hyacinthe semblables aux zircons d'Expailly.

N° 2. Résidu tamisé contenant les gros grains d'ilménite et d'osmiure. On pulvérise ce résidu avant de l'attaquer, pour mieux diviser le fer oxydulé. L'osmiure résiste à l'action du pilon et se sépare presque entièrement par le tamis. (Général Samarski.)

N° 3. Résidu semblable au n° 1, mais un peu plus fin : on pourrait le confondre avec des résidus précipités. (Remis par M. Kocksharow par l'intermédiaire de M. de Senarmont.)

N° 4. Résidu à gros grains, larges lames brillantes d'osmiure, pépites et grains ronds. C'est le plus beau produit de ce genre que nous ayons pu nous procurer. (Remis par M. Matthey, de Londres.)

N° 5. Comme le n° 4, mais grains moins gros. (M. Matthey.)

N° 6. Plus fin encore que le n° 5. On peut croire que ces trois derniers produits ont été séparés par le tamis.

N° 7. Résidu fin, noirâtre, d'un aspect particulier, que nous croyons formé par du minerai de Russie exploité à Londres. (M. Matthey.)

N° 8. Ce résidu, assez semblable au précédent, sauf qu'on y voit beaucoup moins de sable, contient si peu de platine et de métaux solubles, qu'on n'a pas cru qu'il valût la peine d'en déterminer la quantité. (M. Matthey.)

N° 9. Enfin, ce résidu noir, à paillettes brillantes,

ressemblant à la galène antimoniale broyée, très-lourd, nous a été donné par MM. Desmontis et Chapuis comme du résidu ordinaire de Colombie.

La quantité de platine qui reste quelquefois dans ces résidus est tellement considérable, qu'on ne peut l'attribuer à un mauvais traitement, ce qui est au moins inadmissible pour nous, qui connaissons l'habileté avec laquelle, à Paris et à Londres, les matières platinifères sont traitées. L'eau régale n'enlève que des traces de platine à ces matières, et cependant, après leur traitement par le plomb, on en retire jusqu'à 7 pour 100. Cette différence vient manifestement de ce qu'il existe un alliage d'iridium, de platine et de rhodium, et peut-être de palladium soluble dans le plomb, tandis que l'osmiure ne l'est pas du tout; cet alliage ainsi défait cède tous ses métaux à l'eau régale, par laquelle il ne se laissait pas attaquer à l'état cristallisé compacte ou régulin. Nous verrons bientôt que l'existence de cet alliage, qu'on confond avec l'osmiure, est encore décelée par d'autres propriétés que nous trouverons plus tard. Cet alliage doit être en faible proportion dans l'osmiure, et il a échappé jusqu'ici à toutes les recherches directes. Alliage de platine nat inattaquabl

M. Wöhler a constaté la présence du platine dans les résidus par un moyen d'une élégance extrême : en les chauffant avec du prussiate de potasse, ce qui donne du cyanure de platine dont les propriétés sont si curieuses et si tranchées. Il est clair que le prussiate peut agir mieux que l'eau régale sur les alliages, car on sait que le palladium, le rhodium et l'iridium sont, aussi bien que le platine, susceptibles de former des combinaisons d'une grande stabilité avec le cyanogène.

Les résidus précipités peuvent se traiter de la même manière. Seulement il faut opérer sur une moindre II. Résidu précipité

quantité ; on fond 10 grammes de ces résidus avec 10 à 15 gammes de plomb, et 30 à 40 grammes de litharge au moins. Le culot, nettoyé par l'acide acétique et bien brossé, est dissous dans l'acide nitrique étendu de son volume d'eau et bouillant, dont on épuise l'action sur la matière, en l'employant en excès.

Palladium.

On traite la liqueur nitrique filtrée par l'acide sulfurique en léger excès, on évapore après avoir filtré, et on amène presque à sec. On sépare encore du sulfate de plomb, qui quelquefois est coloré en rose par une faible quantité de rhodium qu'on néglige. On reprend par l'eau et l'on traite par le cyanure de mercure. Le palladium est séparé et pesé (1); la liqueur qui, en outre, contient du rhodium est évaporée à sec, on calcine le résidu avec du soufre dans un creuset de porcelaine en atmosphère réductrice (voir pages 69 et 70), puis on le traite par l'acide nitrique et l'eau régale, qui enlèvent tous les métaux étrangers; enfin, on pèse le rhodium.

2° Platine, iridium et rhodium.

Le résidu épuisé par l'acide nitrique est traité par l'eau régale, qui laisse une matière noire mélangée de paillettes et dissout du platine avec un peu d'iridium et du rhodium. On évapore la liqueur presque à sec et on sépare le platine, l'iridium et le rhodium par les procédés déjà indiqués. Quand le chlorure ammonico-platinique n'est pas sensiblement coloré en rouge, on peut se dispenser d'y rechercher l'iridium.

3° Rhodium, iridium et osmiure.

Le résidu insoluble est un mélange d'iridium et de rhodium, dans lequel l'iridium domine avec une petite quantité d'osmiure fin qui était sans doute en suspen-

---

(1) Si le palladium contient du cuivre, on le mouille avec de l'acide nitrique, on calcine et on reprend par l'acide chlorhydrique faible, qui enlève le cuivre ; on pèse de nouveau.

sion dans la liqueur au moment où l'on a précipité les métaux par le fer. Quand on veut compléter cette analyse, il faut attaquer ce résidu métallique par le bioxyde de barium et employer les procédés que nous indiquerons plus tard à propos de l'osmiure d'iridium. Une des analyses que nous donnons plus loin a été ainsi complétée. Pour l'autre, on s'est arrêté à la détermination des matières solubles dans l'eau régale. On verra plus loin que, connaissant la composition des osmiures et par suite le rapport entre les quantités de rhodium et d'iridium qu'ils contiennent, on peut, en négligeant la petite proportion d'osmiure que renferment les résidus précipités, en calculer la composition, quand on en connaît l'origine.

On détermine par différence les métaux communs fer, cuivre, qui se sont dissous dans la litharge de l'attaque en totalité ou en partie, et un peu de sable ou de silice.

1° Un résidu précipité qui nous a été donné par M. Wöhler et qui provenait de la Monnaie de Russie, possède un aspect particulier, comme s'il contenait une matière gélatineuse, peut-être de la silice; il est en petites masses ressemblant à des trochisques irréguliers. Nous y avons trouvé : Exemples

Palladium	0,8
Platine	0,8
Rhodium	2,4
Rhodium, iridium et osmiure d'iridium	21,8
Métaux communs, etc.	74,2
	100,0

2° Un résidu précipité sous la forme d'une poussière noire avec paillettes cristallines, remis par M. Matthey et analysé complétement, nous a donné les résultats suivants :

Osmiure d'iridium.	2,2
Palladium.	1,2
Platine.	0,5
Iridium.	23,3
Rhodium.	6,4
Métaux communs, etc.	66,4
	100,0

§ V. — *Essai et analyse des osmiures d'iridium.*

L'osmiure d'iridium, comme l'a dit Berzélius, n'est pas un composé homogène semblable à lui-même en toute circonstance et dont la composition permette d'en faire une espèce minéralogique constante. On trouve, en faisant l'analyse mécanique des osmiures d'iridium de diverses localités, des matières très-diverses que l'on peut classer ainsi :

1° Des paillettes minces, brillantes, parmi lesquelles on trouve, mais très-rarement, des cristaux peu réfléchissants composés avec les faces du prisme hexagonal régulier et la base. Dans les échantillons que nous avons examinés et qui proviennent principalement des osmiures de l'Oural, nous avons trouvé un seul de ces cristaux déposé aujourd'hui dans la collection de l'École des mines, et dont les faces n'étaient pas assez réfléchissantes pour en déterminer les incidences.

2° Des grains ronds et compactes, ou aplatis d'un côté, que l'on confondrait avec l'espèce précédente, si bien qu'on ne peut faire un triage bien complet des matières de la première et de la deuxième espèce.

3° Pépites caverneuses, quelquefois remplies de fer oxydulé ou de fer chromé que l'on en sépare avec la plus grande difficulté. On pourrait croire que ces matières ont été pénétrées par du minerai de platine que l'eau régale a dissous en fouillant ces pépites, l'osmiure

ayant résisté à l'acide. Très-communs dans le minerai de l'Oural.

4° Lamelles excessivement fines et qui, mises en suspension dans l'eau, ont l'apparence de lames de plombagine. C'est l'espèce d'osmiure qui se grille avec le plus de facilité et auquel, d'après nos observations et celle de M. Chapuis, on applique avec le plus de profit la méthode de grillage de M. Fremy pour la préparation de l'acide osmique et de l'oxyde de ruthénium. C'est aussi cette espèce que Berzélius analysait par la perte qu'elle éprouve au feu et à l'air au moyen du grillage de l'osmium.

Nous ne croyons pas cependant que la nature de tous ces osmiures soit essentiellement différente comme leur apparence. Pour la dernière espèce, par exemple, il est manifeste que l'action de l'oxygène est facilitée surtout par la division de la matière qui est souvent excessive.

Bien souvent les osmiures du commerce sont accompagnés de sables dont le lavage ne les dépouille pas entièrement. Pour en déterminer la quantité, on les fond avec du borax et deux à trois fois leur poids d'argent. La chaleur nécessaire à cette opération est un peu supérieure à la fusion de l'argent. Le sable se dissout dans le borax; l'osmiure tombe au fond du creuset, et pénètre dans l'argent; après la solidification du métal, on n'a qu'à nettoyer le culot avec un peu d'acide fluorique, si c'est nécessaire, et le peser pour déduire de ce poids la quantité d'osmiure que l'argent a absorbé et calculer la quantité de sable dont il était accompagné. 1° Essai pour sabl[e]

Voici, pour donner une idée des proportions de sable que le lavage des résidus laisse dans l'osmiure d'iridium, le résultat de quelques essais de ce genre : Exempl[e]

	OSMIURE purifié par le plomb.	Australie.	Bornéo.	Californie.
Osmiure d'iridium.	100,0	92,0	63,1	96,4
Sable	0,0	8,0	36,9	3,6
	100,0	100,0	100,0	100,0

Quand on dissout l'argent par l'acide nitrique, on enlève souvent une petite quantité de platine et d'iridium. Il est évident, à l'aspect de l'osmiure d'iridium, que l'argent et le plomb, au milieu desquels on le recueille par les procédés que nous avons déjà indiqués, n'exercent sur ses variétés aucune influence dissolvante. Nous répéterons donc ici l'explication que nous avons donnée déjà de ce fait, en admettant qu'il existe dans les résidus de platine un alliage de platine et d'iridium dénué d'osmium et par suite soluble dans les métaux.

Analyse osmiures. La meilleure méthode d'attaque des osmiures d'iridium, celle qui jusqu'ici donne les meilleurs résultats, c'est, selon nous, la méthode de M. Wöhler; elle consiste, comme on le sait, à mêler l'osmiure avec la moitié de son poids de chlorure de potassium ou de sodium et à faire passer sur la matière un courant de chlore humide. Cette méthode ne réussit complétement tout aussi bien que celle d'Osann et de M. Claus, qui consiste à faire l'attaque au moyen du nitre, qu'à la condition que les osmiures seront parfaitement pulvérisés.

Mais les méthodes dont nous venons de parler ont un inconvénient qui nous a forcé à en chercher une nouvelle. Elles impliquent toutes l'emploi de matières d'attaque dont la pureté est difficile à constater et dont il n'est pas possible d'effectuer la séparation parfaite une fois qu'elles ont été introduites dans l'analyse. Elles sont donc incompatibles avec le principe de l'emploi

exclusif des réactifs volatils en analyse, principe que l'un de nous a posé depuis longtemps (1) et dont l'application, nous le savons par expérience, procure une sécurité et donne des garanties de certitude et de précision dont nous ne voulions pas nous priver.

Nous avons évité ces inconvénients en attaquant l'osmiure d'iridium chimiquement pulvérisé par le bioxyde de barium pur ou par un mélange de bioxyde de barium et de nitrate de baryte, matières qui agissent avec le plus d'énergie même sur le platine et à plus forte raison sur les métaux plus oxydables dont il est accompagné.

Mode d'attaque

Le bioxyde de barium n'a aucune action rapide sur l'humidité et l'acide carbonique de l'atmosphère; il se pèse avec une grande facilité, et par suite on peut tenir compte avec une grande exactitude de la quantité qu'on en emploie. Le nitrate de baryte décrépité est dans le même cas. La pureté du bioxyde de barium se reconnaît avec une facilité extrême en l'attaquant par l'acide muriatique, évaporant à sec, pour voir s'il y a de la silice, ce qui arrive presque toujours, reprenant par l'eau acidulée, précipitant par une dissolution d'acide sulfurique, qui sépare la baryte et évaporant à sec la solution acide, ce qui met en évidence la quantité très-faible d'alumine que l'on y rencontre ordinairement; elle vient comme la silice, de ce que la baryte pure a été préparée dans la porcelaine au moyen du nitrate de baryte. Enfin la baryte se précipite avec une grande exactitude au moyen de l'acide sulfurique, et si l'on connaît la quantité de bioxyde de barium introduite dans l'analyse, on peut effectuer cette précipitation avec un volume calculé à l'avance d'acide sulfurique titré

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XXXVIII, p. 5.

avec soin. Aussi cette méthode d'attaque répond-elle à toutes les exigences des principes généraux de l'analyse cités plus haut.

L'analyse du bioxyde de barium pur dont nous nous sommes servis nous a donné, en opérant sur 10 grammes :

	gr.
Sulfate de baryte	13,624
Silice	0,100
Alumine	0,022

d'où :

Bioxyde de barium	98,82
Silice	1,00
Alumine	0,22
	100,04

érisation osmiure.

Quand on veut analyser des osmiures en gros grains ou en lames épaisses, on ne peut guère espérer de les pulvériser convenablement au moyen du mortier, soit dans l'acier, soit dans la porcelaine. Le meilleur moyen de désagréger un corps aussi rebelle consiste à le faire fondre avec six fois environ son poids de zinc, soit dans un creuset de charbon bien entouré et protégé par un creuset extérieur, soit dans un petit creuset de terre qu'on enfouit dans de la brasque après l'avoir bien scellé avec son couvercle. L'appareil est maintenu pendant une demi-heure au rouge, puis porté au blanc soudant pendant deux heures pour évaporer le zinc qui n'a absolument aucune affinité pour l'osmiure d'iridium et qui se dégage très-facilement. En pesant l'osmiure avant et après l'expérience, on doit trouver identiquement le même poids. Nous avons fait cette expérience bien des fois et jamais ce poids n'a varié d'une manière bien sensible. Il y a eu souvent une perte de 2 à 3 millièmes. L'osmiure a perdu sa structure et reste sous la forme d'une éponge brillante, très-friable et que le pilon

réduit lentement, mais entièrement en poudre impalpable. On sépare seulement au moyen du tamis de soie quelques lamelles ou grains d'osmiures qui ont échappé à l'action dissolvante du zinc (1).

Déterminat directe de l'osmiu

Certaines espèces d'osmiures peuvent s'analyser par le grillage, comme l'a fait Berzélius; mais cette méthode même, pratiquée comme il l'indique, ne donne que des résultats imparfaits. Voici comment nous opérons : nous transformons quelques grammes d'osmiure en éponge au moyen du zinc pur par le procédé qui vient d'être décrit, et nous l'introduisons sans le pulvériser, et après l'avoir pesé, dans un four en chaux très-petit, de la forme représentée par la *fig.* 8. On chauffe avec précaution, en ayant soin de ne jamais fondre l'osmiure et de le tenir plongé dans une atmosphère oxydante dont la température ne doit guère dépasser le point de fusion du platine. Une allumette placée dans la flamme extérieure y doit brûler en lançant des étincelles. De temps en temps on ouvre largement le robinet de gaz combustible de manière à rendre la flamme très-réductrice pendant quelques instants et on la rend de nouveau oxydante jusqu'à ce que la flamme n'ait plus d'odeur ou qu'elle ne s'éclaire plus de cette manière caractéristique qu'a décrite Berzélius et qui signale la présence de l'osmium.

Exemple.

Ainsi 12 grammes d'osmiure de Russie, séparés des

(1) Il faut que le zinc soit parfaitement pur : pour cela on le distille dans une grande cornue en grès tubulée et dont la tubulure pénètre jusqu'au fond. Voyez *Annales de chimie et de physique*, t. XLVI, Pl. III, *fig.* 9, le dessin qui représente une de ces cornues. On y met peu de zinc à la fois et on en ajoute par la tubulure autant qu'il en distille. Il tombe goutte à goutte du col de la cornue dans de l'eau où il se grenaille. Avec une cornue de 2 litres, on prépare 10 à 12 kilog. de zinc en deux à trois heures. Il est prudent de distiller le zinc deux fois.

averti que l'expulsion complète de l'acide osmique est une opération longue et délicate, mais qui peut être complète si l'on y met le temps nécessaire. En essayant de condenser l'osmium, on rend l'opération plus difficile, et, par suite, on nuit à la précision. C'est pour cela que nous préférons doser l'osmium par différence.

On évapore lentement à siccité ou presque à siccité, opération qui doit être faite à une basse température. On reprend par l'eau ou l'eau et un peu d'acide, et il ne doit se développer aucune odeur d'acide osmique. On chauffe la liqueur, on décante, et, après avoir dissous tout le chlorure de barium par l'eau, on trouve au fond de la capsule quelques flocons de silice incolore et une poudre lourde qui n'est autre chose que des fragments grossiers d'osmiure d'iridium qui ont résisté à l'action de la baryte. La qualité de cette substance est faible, mais rarement négligeable. On la transporte dans une capsule de platine, on la lave avec un peu d'acide fluorique; puis avec de l'eau, on la sèche et on la pèse. Son poids devra être retranché du poids de la matière analysée. Dans une attaque bien faite, sur 2 grammes on ne doit obtenir ainsi que 2 à 3 centigrammes d'osmiure. Cette quantité dépend d'ailleurs du soin avec lequel on a pulvérisé et mélangé les substances mises en présence (1).

Le résidu saupoudré de soufre et calciné fortement dans une atmosphère réductrice (creuset de charbon de cornues entourant le creuset de porcelaine) donnera de l'osmium dense et inaltérable à l'air, facile à peser.

(1) En mélangeant 2 grammes d'osmiure et le bioxyde, on a eu, avec :

Bioxyde de barium employé.	Résidu inattaqué.
6 grammes	0,500
8 grammes	0,140
10 grammes	0,002
10 grammes	0,000
12 grammes	0,000
12 grammes	0,000

La liqueur décantée ne contient pas trace de ces matières inattaquées, quelle que soit la rapidité avec laquelle la décantation a été faite, mais elle renferme souvent quelques flocons de silice, ce qui n'a aucun inconvénient. On y verse avec une burette la quantité d'acide sulfurique titrée nécessaire pour saturer la baryte (un peu d'acide sulfurique en excès ne gênant pas, deux ou trois dixièmes de centimètre cube, ajoutés en sus de la quantité calculée, suffisent pour qu'on soit sûr du résultat : du reste, un peu de chlorure de barium en excès ne nuirait pas non plus au succès de l'analyse, on le séparerait avec le rhodium). Le sulfate de baryte se dépose avec une facilité extrême, et on laisse ce dépôt se consolider par une digestion de quelques heures dans une étuve bien chauffée.

La liqueur qui surnage le sulfate de baryte est extrêmement colorée en rouge jaunâtre et même tout à fait opaque sous une très-faible épaisseur. Quelque temps avant de la décanter, on la mêle, si l'on veut, avec une petite quantité d'alcool pour déterminer encore mieux la précipitation des sulfates (1), on décante, et on lave par décantation et sur un filtre le sulfate de baryte avec de l'eau alcoolisée, jusqu'à ce que celle-ci passe incolore; on est sûr alors que toute la matière de l'analyse est entraînée. On ajoute à la liqueur 7 à 8 grammes de chlorhydrate d'ammoniaque pur et on chauffe à l'étuve. La plus grande partie du chloro-iridiate d'ammoniaque se dépose pendant cette opération; il est inutile de le séparer; on évapore doucement, presque jusqu'à siccité, et l'on reprend par un peu Iridium.

(1) Nous supposons ici un peu de strontiane dans la baryte. C'est la seule matière que le nitrate de baryte, cristallisé plusieurs fois, pourrait retenir.

d'eau chargée de sel ammoniac. On décante sur un filtre qu'on ne lave pas, car on aura un nouveau précipité à y mettre. Si la liqueur qui a traversé le filtre contient encore quelques traces d'iridium qui est à l'état de sous-chlorure non précipitable, il suffira d'y verser 1 à 2 centimètres cubes d'acide nitrique et de chauffer pour voir renaître un précipité nouveau. On évapore à sec et à basse température, on reprend par un peu d'eau et on verse le précipité sur le même filtre, on lave d'abord avec de l'eau chargée de sel ammoniac, puis avec de l'eau alcoolisée. Le chloro-iridiate d'ammoniaque est introduit avec son filtre dans un creuset de platine qu'on enferme dans un plus grand, et l'on chauffe doucement jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de sel ammoniac. Cette opération doit être conduite avec une extrême lenteur, si l'on ne veut rien perdre du sel iridique. Puis, découvrant les deux creusets, on brûle le filtre à la plus basse température possible. Si l'on sent la moindre odeur d'osmium, il faut continuer le grillage, l'interrompre ensuite pour introduire une goutte d'essence de térébenthine dans le creuset, afin de réduire les oxydes intermédiaires de l'osmium, et recommencer le grillage jusqu'à cessation complète de l'odeur. On pèse alors la matière contenue dans le creuset, et l'on chauffe le tout ou la plus grande partie dans l'hydrogène pour tenir compte des dernières traces de chlore ou d'oxygène qui peuvent y rester.

Platine. On traite cet iridium par l'eau régale faible, dont l'action doit être prolongée. On dose le platine dissous par les procédés connus.

Ruthénium. C'est dans l'iridium que se trouve le ruthénium. On le retire par le procédé indiqué par M. Claus, c'est-à-dire en attaquant la matière par un mélange de nitre et de potasse, reprenant par l'eau, saturant la liqueur

décantée par l'acide nitrique (1), séparant l'oxyde de ruthénium ainsi précipité d'abord par décantation, ensuite sur un filtre qu'on brûle. Le ruthénium réduit par l'hydrogène est pesé. Il doit n'exhaler aucune odeur d'acide osmique au contact de l'eau régale. Cette méthode donne toujours un maximum à cause de la solubilité de l'iridium dans le nitre et la potasse. On s'en aperçoit à la teinte verdâtre de ruthéniate de potasse (2).

Le rhodium se trouve mélangé avec un peu d'alumine et beaucoup de sel ammoniac dans la liqueur d'où l'on a séparé le chloro-iridiate d'ammoniaque. On y verse un grand excès d'acide nitrique pour détruire le sel ammoniac et l'on évapore en couvrant le vase avec un entonnoir. La liqueur réduite à un petit volume est transportée dans un creuset en porcelaine taré, évaporé à sec, mouillée avec du sulfhydrate d'ammoniaque, saupoudrée de soufre et calcinée dans une atmosphère réductrice (creuset de charbon de cornue ou brasque servant d'enveloppe). Le rhodium réduit est traité successivement par l'acide muriatique, l'acide nitrique et l'acide sulfurique, qui enlèvent les métaux et l'alumine que la baryte a pu apporter; enfin il est pesé après dessiccation. Il est prudent de le chauffer dans l'hydrogène pour s'assurer que la réduction du métal a été complète. Rhodium

Quand les osmiures contiennent du fer et du cuivre, ils sont avec le rhodium; on les sépare et on les dose par les procédés déjà décrits à propos des analyses de Fer et cuivre

(1) Quand l'analyse a été bien faite, on ne sent jamais à ce moment l'odeur de l'acide osmique, ce qui indique l'expulsion complète de l'osmium, et par suite la pureté de l'iridium.

(2) Quand cette teinte est le bleu pur, on n'a pas de ruthénium, mais bien de l'iridium en dissolution.

minerais. Ils sont ici mélangés au rhodium à l'état de sulfures.

	COLOMBIE.		CALIFORNIE	AUSTRALIE	BORNÉO.	RUSSIE.				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Iridium. . . .	70,40	57,80	53,50	58,13	58,27	77,20	43,28	64,50	43,94	70,36
Rhodium. . .	12,30	0,63	2,60	3,04	2,64	0,50	5,73	7,50	1,65	4,72
Platine	0,10	»	»	»	0,15	1,10	0,62	2,80	0,14	0,41
Ruthénium . .	0,00	6,37	0,50	5,22	»	0,20	8,49	»	4,68	»
Osmium. . . .	17,20	35,10	43,40	33,46	38,94	21,00	40,11	22,90	48,85	23,01
Cuivre.	»	0,06	»	0,15	»	tr.	0,78	0,90	0,11	0,21
Fer	»	0,10	»	»	»	»	0,99	1,40	0.63	1,29
	100,00	100.06*	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100 00

* Dans cette analyse, l'osmium a été dosé directement.

1. Osmiure extrait par voie sèche des résidus *ordinaires* de Colombie de l'usine de MM. Desmoutis et Chapuis.

2. Osmiure de Colombie de l'usine de M. Mathey, à Londres; il contient beaucoup de lamelles brillantes et larges avec de gros grains.

3. Osmiure des minerais de Californie purifié par l'argent. — Ressemble à certains osmiures de Colombie.

4. Remis par M. Chapuis. — Osmiure en lamelles brillantes.

5. Extrait des minerais de Bornéo, et provenant de l'usine de MM. Desmoutis et Chapuis.

6. Osmiure ordinaire de Russie, extrait des résidus envoyés par le général Samarski.

7. Osmiure de Russie. — Paillettes très-belles extraites d'un échantillon remis par M. Chapuis. — Sa densité est 18,9.

8. Osmiure de Russie. — Gros grains ou petites pépites extraites du même échantillon. — Densité, 18,8.

9. Osmiure de Russie. — Lamelles très-larges ex-

traites d'un bel échantillon envoyé par le général Samarski. — Densité, 20,4.

10. Osmiure de Russie. — Gros grains ou petites pépites extraites du même échantillon. — Densité 20,5.

Formule de l'osmiu d'iridium

On remarquera que les matières des analyses 1, 3 et 9, portant sur des osmiures en lames larges et brillantes, contiennent beaucoup de ruthénium et d'osmium, et si on suppose ces deux corps isomorphes, on peut leur attribuer la formule



(Os, Ru) (Ir, Rh),

qui est suffisamment vérifiée par les nombres fournis par les analyses.

Au contraire, les osmiures en grains ou pépites des numéros 8 et 10 ne contiennent pas de ruthénium et sont très-riches en iridium, et leur formule, vérifiée à peu près par l'expérience, serait



Os 3 (Ir, Rh).

Quand on traite pour ruthénium l'iridium de ces osmiures, on obtient la liqueur d'un beau bleu dont nous avons déjà parlé et qui donne un chlorure double de potassium presque noir et un métal dont la densité est 21,15 et qui a toutes les apparences de l'iridium. Un second traitement par le nitre et la potasse sur la matière ainsi séparée fournit encore une liqueur bleue, mais moins foncée, et la presque totalité de l'iridium qui s'était dissoute reste inattaquée. L'iridium ne paraît pas exister en quantité sensible dans les liqueurs alcalines fortement colorées en jaune. Mais quand il y a peu de ruthénium avec de l'iridium, la couleur bleue de la solution nitro-alcaline prend une teinte verdâtre. On voit combien est grande encore la difficulté qu'on éprouve à élucider entièrement de pareilles questions quand les moyens d'analyse sont si imparfaits.

ode méthode relative ruthénium. M. Claus, il est vrai, a donné pour séparer le ruthénium un autre procédé fondé sur ce que la dissolution du chlorure rose de ruthénium précipite par l'ébullition quand elle est bien neutre. Mais il se dépose également dans ces circonstances une certaine quantité d'iridium et même de l'iridium pur à l'état de poudre bleue, quand les osmiures ne contiennent pas de ruthénium en quantité sensible. Nous avons obtenu ainsi de l'iridium qui fondu, pesait un peu plus de 21.

CHAPITRE III.

MÉTALLURGIE DU PLATINE.

Il n'est aucun métal dont la métallurgie soit aussi peu connue que celle du platine, aucun dont l'exploitation ait moins occupé les technologistes que cette matière précieuse à tant de titres et qui est restée encore si rare, malgré le nombre et quelquefois l'abondance de ses gisements.

de platine ploitées. L'exploitation des mines de platine se fait exclusivement dans la province du Choco à la Nouvelle-Grenade et à Nijnei Tagilsk dans l'Oural. Cependant on a trouvé de ce métal à peu près dans toutes les localités où se font les grands lavages d'or et de diamant (car il est très-curieux que les gisements du diamant et du platine soient souvent les mêmes, comme à Minas-Geraës et à Bornéo) : ainsi on a exporté de petites quantités de platine de Bornéo, d'Australie, de Californie et même de l'Orégon, enfin de tous les pays où les chercheurs d'or affluent depuis quelques années. Les quantités de platine exploité pourraient donc être bien plus considérables qu'elles ne sont. Mais il y a à cela deux obstacles : la valeur supérieure de l'or qui indemnise de ses peines le mineur bien plus lar-

gement que le platine dont la couleur le fait d'ailleurs apercevoir moins facilement; puis le platine ne se laisse pas amalgamer par le mercure, et par suite son exploitation est moins facile. Il ne faut donc pas s'attendre à voir les pays aurifères fournir de longtemps le contingent de minerai qu'on pourrait en attendre. Quant au Choco, sa production pourrait être beaucoup plus grande qu'elle n'est. Mais la paresse des habitants, la facilité qu'ils ont de vivre presque sans travail, limitent beaucoup l'exploitation.

Les mines de l'Oural sont, d'après les renseignements qu'a bien voulu nous donner le général de Rachette, beaucoup plus riches que leur production actuelle ne pourrait le faire supposer. Le jour qu'on voudra tirer parti des gisements connus, on pourra doubler et même tripler les quantités de minerai qu'on en extrait aujourd'hui. S'il y avait grand intérêt à augmenter les lavages de platine, les recherches de mines ne seraient pas longtemps infructueuses. Mais aujourd'hui les restrictions légales qui sont apportées par la législation russe au commerce des métaux précieux atteignent surtout le platine dont les débouchés ne sont pas encore établis comme ceux de l'or et des métaux connus.

Documents statistiques

Tout ce qui concerne le minerai et le traitement du platine est depuis Wollaston entouré d'un tel mystère, soit en France, soit même en Angleterre que les renseignements statistiques les plus simples manquent entièrement dans les deux pays sur cette matière. Ainsi la douane française ne possède que des documents d'une absurdité évidente sur la valeur du platine coté à 3.000 francs le kilogramme au lieu de 700 et sur ses provenances: car dans les documents officiels on fait venir le minerai de pays qui n'en ont

jamais fourni. Quant aux quantités introduites annuellement en France, les nombres qui les concernent, et qui paraissent n'avoir aucune valeur, indiquent seulement que la consommation du platine est croissante dans notre pays.

Choco. Il est donc très-difficile de savoir quel est le chiffre de cette consommation autrement que par les chiffres de la production du Choco dont les minerais qui arrivent soit à Southampton, soit au Havre, paraissent se distribuer à peu près également entre la France et l'Angleterre. D'après des documents communiqués par le consul de la Nouvelle-Grenade, don Francesco Martin, et que M. Jacobi a bien voulu nous faire connaître, le chiffre de cette production ne dépasserait pas annuellement 1.200 livres ou 600 kilogrammes.

Russie. Quant à la Russie, elle exporte peu, à cause des règlements financiers qui régissent l'exploitation de l'or et du platine; mais j'ai su par M. le général de Rachette que sa production actuelle ne s'élevait guère qu'à 75 pouds (le poud vaut 16 kilos), mais qu'elle a été de 100 pouds et qu'on pourrait atteindre facilement une production de 150 à 200 pouds, ce qui ferait 1.600 kilos, c'est-à-dire près du triple de ce que l'Amérique fournit aujourd'hui au commerce européen. On peut donc affirmer qu'un jour viendra où la Russie pourra, si elle le veut, avoir le monopole du platine, en supposant que les lavages ne se développent pas dans la Nouvelle-Grenade et dans les pays aurifères de l'Amérique.

Extension de l'emploi du platine. L'importance du platine dans les usages qui lui sont affectés dans l'industrie et dans les laboratoires dépend uniquement de son prix. Le platine employé aujourd'hui comme métal des savants et de quelques industries deviendrait un métal usuel, entrerait dans les usages de la vie si son prix était en rapport

avec ses qualités et son aspect. Mais il y a une condition indispensable pour qu'un pareil changement s'effectue dans le commerce du platine, c'est que le platine devienne un métal véritablement précieux et en présente tous les avantages entre les mains de celui qui l'achète; il faut qu'il puisse être revendu au prix même d'achat comme l'or et l'argent. C'est là une condition essentielle pour que le platine devienne un métal destiné à la fabrication des monnaies et aux usages de la vie domestique, et c'est ce qui n'existe pas aujourd'hui. Le platine neuf s'achète 1.000 francs sans la façon : l'objet détérioré qui n'a pas perdu de son poids, où le métal est resté sans altération, se revendra seulement au prix de 750 francs le kilogramme en subissant une perte de de 25 p. 100. Cette dépréciation du platine est causée par ce fait qu'il faut le redissoudre et le préparer à nouveau, comme s'il se trouvait encore dans le minerai. C'est pour cela qu'il ne vaut pas beaucoup plus que le minerai lui-même, dont le prix actuel (pour les provenances du Choco) est de 700 fr. le kilogramme.

Métallurgie actuelle du platine.

Il n'existe en Europe qu'un petit nombre d'usines où se fabrique le platine. La raison en est dans la quantité assez restreinte de ce métal qui s'emploie, et dans l'importance des capitaux qu'il faut consacrer à cette industrie. Les procédés métallurgiques qu'on y emploie ne paraissent pas avoir beaucoup changé au fond, quoique la préparation du métal ait fait de grands progrès. Ce sont toujours les procédés publiés par Wollaston qui y sont exclusivement employés. A la monnaie de Russie, où l'on a essayé de les modifier, on a obtenu des produits qui n'ont pas la valeur des métaux français et anglais. Mais sur les détails de cette fabrication on a appris peu de choses nouvelles en

France à cause du mystère dont M. Bréant a donné l'habitude d'entourer tout ce qui concerne la fabrication du platine. L'un de nous qui a visité à Londres les beaux ateliers de M. Mathey y a trouvé employée avec une grande perfection la méthode du rapprochement des mousses de platine, comme on la pratique à peu près partout. Il est donc très-difficile, même dans un mémoire sur cette matière, de donner quelque notion technique un peu précise sur cette matière, surtout en ce qui concerne le prix de revient actuel du platine et des diverses opérations à la suite desquelles on l'obtient.

ir de cette dustrie.

Quant au platine, nous sommes persuadés que dans un avenir très-prochain, au moment où la répartition des matières d'argent qui se fait aujourd'hui d'une manière inusitée dans les pays habités sera devenue régulière, il trouvera une place comme métal usuel et comptera dans nos habitudes. Mais il faudra comme condition expresse qu'il puisse sortir des usages économiques au prix d'achat, comme l'or et l'argent.

C'est pour faciliter ce progrès, dont les savants profiteront directement à cause de l'emploi qu'ils font du platine dans leurs collections et leurs laboratoires, que nous avons cherché une nouvelle méthode métallurgique avec laquelle on puisse refondre et couler le platine comme on le fait pour l'or et pour l'argent et presque sans plus de frais, et enfin l'extraire de ses minerais.

Nous allons donc exposer successivement les procédés de voie sèche par lesquels nous avons résolu les problèmes suivants :

1° Révivifier par fusion le platine qui a servi et qui est altéré par l'usage.

2° Préparation du platine pur industriellement.

3° Préparation d'un alliage contenant, en outre des

métaux qui accompagnent le platine dans son minerai, ceux que contient l'osmiure d'iridium lui-même.

4° Préparation d'un alliage triple de platine, d'iridium et de rhodium présentant des qualités voulues et utilisables.

§ I. *Révivification du platine.*

Pour utiliser de nouveau les débris de platine du commerce, il faut le mettre en lingots après l'avoir purifié de toutes les matières étrangères qu'il peut contenir. La méthode par fusion que nous employons est déjà connue, elle a été exposée à la page 38 de ce Mémoire. Il ne nous reste plus qu'à indiquer comment doit s'effectuer la purification du métal lui-même.

On n'a besoin de se préoccuper que de la séparation de l'or qui sert à souder les pièces de platine et il suffit pour l'effectuer de mettre le platine dans l'eau régale très-faible qui attaque rapidement l'or et n'enlève que de très-petites quantités de platine. Or.

Les métaux communs et oxydables, les métalloïdes qui ont pu s'incorporer ou se combiner au platine pendant qu'on en a fait usage, disparaissent nécessairement pendant la fusion, soit par oxydation à la surface de la chaux, comme le silicium, soit par la volatilisation comme le plomb, l'argent, etc., souvent aussi par ces deux circonstances réunies qui font que les métaux en même temps oxydables et volatils, comme le cuivre, le plomb, l'argent et le palladium, ne peuvent séjourner longtemps dans le four en chaux. L'osmium disparaît intégralement pendant la fusion, si bien que, lorsque l'affinage a été bien conduit, le platine fondu est bien plus pur que la matière dont il provient. Aussi sa douceur et sa mollesse que, d'après les monnayeurs de Impureté du platin

l'atelier des médailles de Paris, on ne peut comparer qu'à celle du cuivre rouge, en font un excellent métal pour les usages de cette sorte. Mais il est trop mou pour la plupart des applications qu'on en fait en chimie.

Nous renvoyons pour les détails de cette opération et pour le prix de revient du platine révivifié par le feu à ce que nous avons dit à propos de la fusion du platine.

§ II. *Préparation du platine pur industriellement.*

La méthode que nous allons exposer a été assujettie à cette condition de pouvoir s'effectuer avec la plus grande facilité dans les appareils de l'industrie métallurgique les plus connus, en n'exigeant à la fin de l'opération que le passage dans le four en chaux pour arriver à une fusion et à un affinage définitifs.

ssolution
i le plomb.

Le plomb et les métaux du platine s'allient avec une grande facilité : mais le fer qui est uni au platine soustrait les grains de minerai à l'action du plomb avec une très-grande énergie : cependant la dissolution peut à la longue devenir complète. Le plomb n'exerce aucune action sur l'osmiure d'iridium, et si on fond ensemble du plomb et du minerai de platine on retrouve tout l'osmiure sans la moindre altération à la partie inférieure du culot de plomb platinifère.

Pour faire la séparation de l'osmiure et du platine, il suffit donc de les fondre avec du plomb, en employant toutefois un artifice pour hâter la dissolution du platine. Pour cela, il faut se servir non pas de plomb, mais de galène ou sulfure de plomb qui est décomposé par le fer, comme on le sait, en produisant du plomb, lequel s'allie au platine. Le plomb a de plus cet avantage qu'il forme des sous-sulfures ou mattes plombeuses

très-riches en métal et très-propres à cette opération.

Traitement en petit.

Dans un creuset on met quelques kilogrammes de minerai de platine qu'on fond avec leur poids de galène et un peu de verre ou mieux d'un mélange de verre et de borax. On chauffe au rouge vif de la fusion de l'argent et on agite de temps avec un barreau de fonte jusqu'à ce que tout le minerai ait disparu et qu'on ne sente plus sous la pression du ringard que quelques grains d'osmiure. Dans cette opération la galène, au contact du fer contenu dans le minerai et du ringard lui-même, fournit le plomb pour dissoudre le platine. On augmente alors la chaleur et on verse sur la matière de la litharge jusqu'à ce que tout dégagement d'acide sulfureux cesse et jusqu'à ce que la scorie devienne manifestement plombeuse et oxydée. Pour favoriser la réaction entre la litharge et la galène, on agite de temps en temps avec un ringard en fonte. L'opération doit être conduite de telle façon qu'à la fin le plomb soit entièrement privé de soufre; le poids de l'alliage est environ le quadruple du poids du platine employé.

On laisse refroidir lentement le creuset, et lorsque le plomb est entièrement solidifié, on détache le culot, on enlève à la scie le dixième inférieur qui contient l'osmiure d'iridium et qu'on conserve pour l'ajouter à l'opération suivante. On coupelle le reste, et en prolongeant la coupellation à haute température et dans un vif courant d'air, on finit par enlever presque tout le plomb, et il ne reste plus qu'à introduire ce platine plombeux dans un four en chaux, de le fondre et de l'affiner par les procédés déjà décrits. Dans les premiers moments de la fusion, il se dégage des fumées de plomb qu'on dirige dans une cheminée d'appel. Pendant l'affinage, l'odeur de l'osmium est à peu près insensible,

raitement n grand.

On modifie facilement ce procédé pour l'appliquer en grand.

1° Fusion de la galène.

Cette fusion peut s'opérer dans un petit four à réverbère dont la sole en marne ou en briques doit être hémisphérique, de manière à ressembler entièrement à la sole d'un fourneau de coupelle. Pour traiter à la fois 100 kil. de minerai, il suffit que cette sole ait une capacité de 50 litres environ. Dans le cas qui nous occupe, il vaudrait mieux employer pour la sole la forme d'une calotte empruntée à un ellipsoïde de révolution. Un petit four ayant une longueur de sole d'environ 1 mètre, de 1 décimètre ½ environ de profondeur moyenne et une largeur de 50 centimètres, suffirait amplement au traitement de 100 kil. de minerai. En donnant au foyer la même largeur que la sole, c'est-à-dire 50 centimères sur 33 à 40 centimètres dans l'autre dimension horizontale, on aurait une chaleur suffisante. Mais il faudrait opérer avec une épaisseur de combustible de 30 centimètres au moins pour avoir constamment une flamme réductrice et ne pas précipiter par trop l'oxydation de la galène, et par suite la production du plomb.

Une fois le four chauffé, on y jette le mélange de galène et de minerai à poids égaux, on fond en brassant constamment jusqu'à ce qu'on ait produit une matte plombeuse et l'alliage de platine et de plomb. Alors en jetant un peu de verre fusible sur la matière, poussant la chaleur, on introduit peu à peu les 200 kil. de litharge qui sont à peu près nécessaires pour terminer l'opération et chasser le soufre. Lorsque la réaction est terminée, on laisse le bain métallique dans le repos le plus complet pour que l'osmiure se précipite au fond, et après avoir écoulé la scorie plombeuse, on décante le platine plombifère au moyen d'une cuiller de fonte

et on le coule dans des lingotières. La partie inférieure du bain contenant l'osmiure d'iridium est ajoutée à la fonte suivante jusqu'à ce qu'il soit devenu très-riche en osmiure (1).

La sole du four à réverbère devra être autant que possible garnie dans toutes ses parties inférieures et latérales, même du côté de l'autel, au moyen d'une caisse de fonte sur laquelle reposeront les briques, de manière que du plomb platinifère très-fusible ne puisse pénétrer bien profondément entre les briques, et exiger, pour le retrouver, la démolition des pièces du four les plus importantes et le plus solidement reliées entre elles. L'autel devra, pour la même raison, être creux et refroidi par un courant d'air intérieurement.

Cette opération se fait de la même manière que la coupellation de l'argent et dans les mêmes appareils. Seulement à la fin de l'opération, quoiqu'on pousse le feu, l'alliage très-riche en platine se solidifie, et on peut l'enlever après avoir refroidi brusquement sa surface avec de l'eau. La plus grande partie du plomb peut être brûlée dans un appareil analogue aux fours destinés à la liquation du cuivre argentifère. Seulement ici les pains de platine plombifère soumis à l'action d'une flamme oxydante et dont la température est très-élevée, laissent transsuder des gouttelettes de litharge et se transforment enfin en un gâteau en forme de chou-fleur qu'on n'a plus qu'à fondre après l'avoir mis en fragments. Coupellation

(1) Quand ces matières plombeuses sont riches en osmiure, on les fond sur une petite sole inclinée. Il s'écoule du plomb platinifère qu'on ajoute aux traitements suivants, et on obtient une masse d'osmiure qu'on peut dépouiller de plomb par l'acide nitrique (le nitrate de plomb traité par l'acide sulfurique restitue l'acide nitrique), ou bien coupeller et transformer ainsi en une matière riche en iridium, qui sera utilisée plus loin.

sion latine.

La fusion et l'affinage du platine devront se faire dans des fours contenant 15 à 20 kil. de platine. En versant dans le même moule la matière fondue dans trois ou quatre de ces fours, on pourra obtenir des lingots de 60 à 80 kil., plus pesants par conséquent que les plus grosses pièces que l'on ait jamais eu à faire en platine. D'ailleurs rien n'empêchera d'augmenter les dimensions de ces fours à fusion qui, évidemment, à cause des principes de leur construction, peuvent recevoir des dimensions illimitées en largeur. Il suffira de déterminer par l'expérience la profondeur qu'on devra donner aux bains de platine et peut-être aussi le nombre des tuyères à oxygène qu'il conviendra d'y placer.

§ III. — *Extraction du platine par simple fusion.*

naturel.

Rien n'est plus simple que de préparer, avec un minerai de platine convenablement choisi, un alliage triple de platine, d'iridium et de rhodium, ayant toutes les qualités du platine, avec l'avantage de présenter un peu plus de roideur et une résistance sensiblement plus grande à l'action des réactifs et de la chaleur.

Il est évident que si nous enlevons au minerai de platine toutes les matières oxydables ou volatiles qu'il contient, nous aurons un alliage de platine, d'iridium et de rhodium. L'or dont on peut priver le minerai avant son traitement, le palladium sont volatils, et si on les laisse dans la matière avant de la fondre, on les trouvera dans les fumées condensables. L'osmium se volatilisera à l'état d'acide osmique. Le cuivre, le fer s'oxyderont, et si on les met en contact avec la chaux, le dernier formera un ferrite de chaux fusible. La plus grande partie du cuivre passera dans les flammes.

Le tableau qui suit donne la composition des alliages

que fournissent ces minerais quand on a expulsé les parties oxydables et volatiles et qui se rapportent aux minerais les plus importants.

	COLOMBIE.			CALIFORNIE.		RUSSIE.	
	1 (a)	2	3	4	6	11	12
Platine	96,10	94,09	90,70	96.80	90,50	93,00	94,00
Iridium	2,40	2,98	7,90	2,10	7,20	3,70	5,70
Rhodium	1,50	2.93	1,40	1,10	2,30	3,30	0,30
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100.00	100,00

(a) Ces numéros correspondent aux matières dont l'analyse a été donnée à la page 74 de ce mémoire, et auxquelles se rapportent les détails qui suivent le tableau de leurs compositions.

Il suffira pour obtenir ces alliages de fondre le minerai dans de la chaux, il se dégagera de l'acide osmique qu'on pourra éloigner au moyen d'un tube engagé dans une cheminée à fort tirage et dans lequel on dirigera la flamme contenant l'osmium (un bassin plein d'ammoniaque dont les gaz seront obligés de lécher la surface, permettra d'y recueillir l'acide osmique, si on ne préfère le perdre). Mais, pour éviter d'attaquer la chaux du four lui-même, il est bon d'ajouter au minerai un fondant qui s'empare de l'oxyde de fer pour le transformer en une matière fusible (ferrite de chaux), laquelle s'imprégnera dans la chaux du four comme dans une coupelle. Ce fondant sera la chaux elle-même, et il conviendra d'en employer une quantité égale à la proportion de fer qui existe dans le minerai (1). Fondant.

(1) La chaux a le même équivalent que le fer, de sorte que pour obtenir la combinaison F^2O^3CaO, spinelle ferrico-calcaire, il suffit de la moitié seulement de la chaux introduite comme

reil. Après avoir mêlé le minerai avec son fondant, on l'introduira dans le four à reverbère de la (*fig.* 7), qui est construit d'après les mêmes principes que ceux que nous avons déjà décrits. Seulement on a ménagé un peu en avant du chalumeau EC un trou T muni d'un *bouchon* en chaux par où on introduira le minerai. On remarquera que le chalumeau EC est placé un peu vers le fond de l'appareil de manière que le minerai tombe sur un point de la sole où la chaleur est maximum, et qui sera situé un peu en avant du centre de la sole. On introduira le minerai peu à peu de manière à fondre presque tout un lot avant d'en introduire un autre, et on ne s'arrêtera que lorsque la sole sera tout à fait détruite par les scories, ce qui arrive au bout d'un certain temps, variable avec la nature des minerais. On grenaille le platine fondu et on nettoie le four avec le plus grand soin, en mettant les fragments où l'on suppose quelques grains de platine, en digestion avec l'acide muriatique et lavant à grande eau. La silice gélatineuse qui reste avec les grains très-fins de platine est entraînée par l'eau et le platine reste. On refond le platine dans un autre four et on ne peut le considérer comme pur que lorsqu'il ne répand plus l'odeur d'osmium dans la flamme oxydante et qu'il n'attaque plus la chaux. Quelquefois une troisième fusion avec affinage par les procédés déjà décrits pour le platine est une opération indispensable.

inerai ombie. Nous allons donner le détail du traitement des minerais de platine de Colombie, sur lesquels nous avons opéré.

---

fondant : le reste se combine avec la silice, l'alumine, le fer, la zircone et les autres matières contenues dans le sable des minerais.

Minerai de Colombie le plus pur, appartenant à M. Claudet, de Londres, qui avait bien voulu le mettre à notre disposition. Ce minerai a été traité par le tamis, sachant que nous séparions ainsi les parties les plus riches des matières sablonneuses et de l'osmiure d'iridium qui en général sont les plus fines. Celles-ci ont été traitées par le plomb et la litharge et coupellées. Première opération

	kil.
1° La partie passée au tamis fin.	0,234
2° La partie restée sur le tamis.	2,827
3° Quantité de minerai totale.	3,061

Ce minerai, traité de la manière déjà décrite, a donné, dans un four de 8 centimètres de diamètre, en deux fois :

	Poids. kil.	Platine obtenu. kil.	Rendement.
1° Parties fines.	0,234	0,1337	57,1
2° Parties grossières. . . .	2,827 (1)	2,6060	92,2
	3,061	2,7397	

La quantité moyenne du platine, ainsi obtenue. est de 89,5 pour 100..

Minerai de Colombie, appartenant à M. Mathey. Seconde opération

On a partagé ce minerai en trois portions par le crible et on a obtenu :

	Poids. kil.	Platine produit. kil.	Rendement.
Portions fines séparées par le tamis de soie.	0,098,8	0,055	55,7 p. 100.
Portions moyennes séparées par un tamis grossier. . . .	1,270,0	1,161	91,4
Pépites, dont quelques-unes assez grosses.	0,180,0	0,160	88,9
	1,548,8	1,376	88,9 moyen.

(1) La quantité d'oxygène absorbé, pour le traitement de ces 2k.827, a été de 1.050 litres ou 371 litres pour 1 kil. de minerai.

Après une seconde fusion, le lingot avait perdu 11 grammes, ce qui a porté le rendement définitif à 88,1 pour 100.

Ce minerai contenait une très-grande quantité de palladium qui, déterminée par l'analyes, s'est élevée à 1,48 pour 100.

n
pite.

M. le colonel de Rachette a bien voulu mettre à notre disposition une pépite de 110 grammes de platine russe (1), que avons fondue et qui a donné $96^{g},5$ d'un platine extrêmement mou, soit 88 p. 100.

Nous n'avons eu à notre disposition que 2 livres (800 grammes) de minerai de platine de Nijnei-Tagilsk que M. le général de Rachette avait bien voulu mettre à notre disposition, nous l'avons ainsi traité :

1° *Pulvérisation.* Il a été pulvérisé au mortier de fonte, ce qui a brisé les grains irréguliers et laminé les grains compactes : en passant la matière sur le tamis nous avons séparé 50 grammes d'un sable très-platinifère qui a été traité à part et qu'on aurait pu séparer par un simple lavage d'une grande quantité de matières silicatées et titanifères qui étaient manifestement enfermées dans les grains de platine avant la pulvérisation. Nous recommandons ce mode de purification comme très-efficace et très-économique ;

2° *Platine fin et impuretés.* Ces impuretés ont été traitées par leur poids de plomb et de la litharge suivant le procédé indiqué plus haut pour les osmiures,

---

(1) M. le colonel de Rachette, à qui nous devons un grand nombre de renseignements très-intéressants sur l'exploitation du platine en Russie, nous avait donné pour nos essais un échantillon très-rare et d'une grande valeur, une pépite de platine de plus de 200 grammes. Nous n'avons pas eu le courage de la fondre et nous l'avons déposée dans la collection de minéralogie de l'École des mines.

et l'alliage platinifère a été ensuite coupellé dans l'opération suivante.

3° *Traitement par le plomb.* 350 grammes de minerai pulvérisés ont été traités par 200 grammes de galène et 100 grammes de plomb, chauffés au rouge cerise. On a mis un peu de borax sur le creuset et l'on y a versé successivement 400 grammes de litharge, jusqu'à ce que la scorie ait été entièrement oxydée. Le plomb sortant du creuset était cassant, on l'a coupellé et il a produit 298g,5 de platine allié, soit 85,3 p. 100 du minerai purifié.

4° *Traitement direct.* Le minerai pulvérisé a été mélangé avec 10 p. 100 de son poids de chaux, on a introduit peu à peu la matière dans un four en chaux de la forme indiquée à la figure 7.

La fusion a été très-facile, les scories se sont imprégnées dans les parois du four, et l'on a continué l'action du gaz jusqu'à ce que, l'affinage étant complet dans la flamme oxydante, toute odeur d'osmium eût disparu. Le métal coulé dans l'eau et grenaillé était malléable, quoique très-dur.

Platine	350 gr.
Chaux	35 gr.
Platine	299
Rendement	85,4 p. 100.

La composition de ce platine de première fusion était celle-ci :

Platine	91,5
Iridium	6,9
Rhodium	0,4
Fer	0,5
Cuivre	0,8
	100,1

Il est remarquable que cette matière ne contienne pas de palladium. Ce métal, en effet, avait disparu en-

tièrement par oxydation et volatilisation avant même que la totalité des métaux plus altérables, mais moins volatils, eût été chassée de l'alliage.

naturel. Cet alliage, fondu une seconde fois en un lingot bien sain, a été mêlé avec celui qui venait du traitement par le plomb et qui peut-être était encore plus doux au marteau et transformé en un lingot cylindrique qu'on a laminé pour le transformer en médailles et en monnaies pour le gouvernement russe. M. Jacobi a assisté à toutes ces opérations, et il a fait lui-même frapper avec ce platine, que nous appellerons *l'alliage naturel*, une médaille à l'effigie de l'empereur Nicolas qui avait 63 millimètres de diamètre et 5 millimètres au moins de relief. Tous ces essais monétaires ont parfaitement réussi, et cette matière a été jugée aussi parfaite et jouissant d'aussi bonnes qualités que l'alliage artificiel fait de toutes pièces avec l'iridium et l'osmium.

Sa composition après expulsion complète du fer et du cuivre était :

Platine.	92,0
Iridium.	7,6
Rhodium.	0,4
	100,0

§ IV. — *Préparation d'alliages en proportions variées.*

La méthode que nous venons d'indiquer nous permettra de produire des alliages tertiaires dans des proportions à peu près quelconques, soit en mélangeant convenablement des minerais de compositions diverses, soit en mélangeant des minerais connus avec des osmiures d'iridium ou des résidus dont la composition a été déjà donnée. La fusion s'opère de la même manière; elle est cependant un peu plus longue à cause de la quantité

d'osmium plus considérable qu'il faut oxyder et de la fusibilité un peu moindre de l'alliage. Il faut également un affinage plus parfait que pour le platine pur quand on veut avoir des matières en même temps très-riches en iridium et suffisamment malléables.

Nous avons fait, il y a longtemps, un grand nombre d'essais, mais sur de petites quantités de matière, pour nous rendre compte de la proportion d'iridium et de rhodium, que l'on doit introduire dans le platine pour en faire des alliages de qualités variables. Depuis nous avons pensé que des essais en grand, quand on pourra se procurer les matières premières en quantités suffisantes, devront seuls mériter une entière confiance. Ces essais devront porter principalement sur la limite à laquelle il faut s'arrêter dans le mélange de l'iridium au platine, pour avoir un alliage maniable. Nous donnerons seulement ici quelques nombres pour servir de guides dans des essais de ce genre.

Essais relat à l'iridium

Nous avons à du minerai russe très-peu riche en rhodium mélangé en proportions variées des osmiures pulvérisés par le zinc et grillés, pour en enlever la plus grande partie de l'osmium, et nous avons fondu le tout en présence d'un grand excès de chaux pulvérisée. La matière affinée était essayée au marteau, et nous avons vu qu'on pouvait obtenir ainsi des alliages très-durs, mais très-malléables, contenant jusqu'à 15 p. 100 d'iridium de plus que n'en renfermait déjà le minerai.

Un autre essai a été fait avec de l'osmiure grillé et du platine parfaitement pur. Nous avons obtenu ainsi un alliage contenant :

Platine	78,7
Iridium	21,3
	100,0

d'une excellente qualité, presque inattaquable par l'eau régale, en même temps rigide et malléable.

Plus on diminue la quantité d'iridium, plus l'alliage prend de douceur, et l'on obtient des propriétés excellentes d'une matière qui renferme de 10 à 15 p. 100 d'iridium. Les vases fabriqués avec ces matières ont bien plus de résistance aux réactifs et au feu; ils fondent moins facilement que le platine, ils sont plus rigides et moins faciles à déformer.

Essais relatifs au rhodium et à l'iridium mélangés.

Certains osmiures d'iridium contenant de grandes quantités de rhodium, nous avons pensé qu'on pourrait les utiliser en les incorporant dans les alliages. Ils ont donné de bons résultats, ainsi que le prouve un échantillon fait avec du platine pur et un mélange d'iridium et de rhodium extrait des résidus précipités. Nous avons ajouté du platine à ce mélange jusqu'à ce que l'alliage devînt très-ductile. Il avait alors la composition :

Platine	75,4
Rhodium	5,0
Iridium	19,0
	100,0

Mode de préparation de ces alliages.

Rien de plus facile que cette préparation. Il suffira d'ajouter à du minerai de platine, de composition connue, une quantité d'osmiure d'iridium grillé telle, qu'on obtienne après fusion et affinage un métal d'une ductilité et d'une dureté convenables. Ces fusions se feront de la même manière que dans le traitement du minerai que nous avons déjà décrit. Quand les osmiures se grilleront mal, on pourra les traiter d'abord par le zinc et évaporer le zinc par la chaleur ou le dissoudre dans l'acide muriatique. Le grillage s'effectuera alors avec une facilité remarquable, dans des appareils faciles à imaginer, par exemple, dans des moufles communiquant par un tuyau de poterie avec une cheminée tirant bien.

Rien n'empêchera de condenser l'osmium dans de l'ammoniaque placée sur le trajet de l'air chargé de vapeurs osmiques. Mais la plupart du temps il vaudra mieux le perdre dans l'air. Le résidu du grillage lavé à l'acide muriatique ne contiendra plus que du rhodium, de l'iridium et des traces de zinc qui ne gênent en rien les opérations qui suivent. On le calcinera fortement dans un creuset recouvert de charbon pour lui donner de la compacité et lui permettre de résister à la violence du courant gazeux qui alimente les fours en chaux.

Nous avons trouvé dans tous les traités de chimie et les traditions de tous les fabricants de platine, l'opinion bien arrêtée que l'iridium nuisait à la qualité du platine. Nous-mêmes, au début de ce travail, nous partagions cette erreur. C'est seulement il y a quelques années, qu'en fondant directement des minerais très-riches en iridium, nous nous sommes aperçus, par les produits de la fusion, de la bonté de ces alliages que nous obtenions ainsi. Difficiles à dissoudre, ils précipitaient en rouge violacé foncé, par le sel ammoniac. Cette circonstance nous a mis sur la voie de ces recherches nouvelles, dont les résultats, nous l'espérons, ne resteront pas sans application. Déjà ces alliages sont dans le commerce et nous espérons qu'ils y seront utiles.

Résumé et conclusion.

Les usages du platine, fort restreints aujourd'hui, tendront à se généraliser quand le prix de ce métal aura diminué notablement. Ce résultat peut être obtenu par l'exploitation régulière et suffisante des gisements connus, soit dans l'Oural, soit dans les pays aurifères. Il sera nécessaire alors d'avoir un autre mode de traitement que celui qui est adopté aujourd'hui.

C'est pour cela que nous proposons une métallurgie entièrement nouvelle pour le platine.

Nous avons donné un système complet pour utiliser les résidus de platine jusqu'ici restés sans emploi, en proposant un nouveau système d'alliage des métaux du platine et tout un mode de traitement de ces alliages insolubles dans l'eau régale; leur révivification exigera nécessairement l'emploi des méthodes par voie sèche.

Pour faciliter le travail relatif à cette nouvelle métallurgie et à ces alliages, nous avons donné l'analyse de tous les minerais de platine, de tous les résidus de fabrication actuelle et de tous les osmiures d'iridium connus ou plutôt qui sont arrivés à notre connaissance.

Nous espérons que nous aurons ainsi fait faire un progrès à l'industrie d'un métal qui rend à la science et à la chimie des services si directs et si importants.

NOTE

SUR UN APPAREIL DE SURETÉ PROPOSÉ POUR PRÉVENIR LES EXPLOSIONS DES GÉNÉRATEURS A VAPEUR.

Par M. A. DELASALLE, manufacturier à Lille (Nord).

Les explosions fréquentes des générateurs ont, depuis l'application de la vapeur, appelé à diverses époques la sollicitude de l'administration qui a prescrit certains moyens de sûreté, considérés comme encore insuffisants.

La cause la plus générale de l'explosion d'une chaudière est l'injection de l'eau alors que le niveau a baissé suffisamment pour permettre aux parois de rougir.

Ainsi que plusieurs expériences le démontrent, l'eau mise en contact avec une surface portée au rouge ne produit qu'une très-petite quantité de vapeur à une pression insignifiante, puisqu'elle passe à l'état sphéroïdal à une température constante de 90 degrés, et ce n'est que lorsque cette surface a pu se refroidir, soit par l'introduction d'une grande quantité d'eau à une température assez basse, soit par la diminution d'intensité du foyer, que toute cette eau se transforme instantanément en vapeur à une pression très-considérable, si l'on en juge par les effets qu'elle produit.

Examinons différents cas où l'on est exposé à ce que l'eau s'introduise dans une chaudière déjà rougie.

Pendant la marche de la machine, la pompe alimentaire peut être assez longtemps sans fonctionner, soit parce qu'elle est sale ou que l'eau du condenseur est

trop chaude. Lorsqu'elle recommence à fonctionner, elle envoie son eau dans un générateur qui a pu rougir. Si une cause quelconque a empêché le flotteur d'indiquer l'abaissement du niveau d'eau, lorsque le chauffeur s'en apercevra, que fera-t-il? Pour ne pas être pris en défaut, et sachant d'ailleurs que par mesure de prudence les flotteurs sont placés généralement assez haut dans les chaudières, probablement il alimentera, comptant bien qu'il lui reste encore quelques pouces d'eau; mais qu'en sait-il? Peut-être la chaudière est-elle tout à fait vide.

Les explosions sont heureusement très-rares pendant la marche de la machine. Avec un chauffeur intelligent et des indicateurs du niveau de l'eau dans la chaudière fonctionnant convenablement, on peut presque toujours éviter le danger; mais il n'en est pas de même pendant la nuit, où personne n'est là pour constater les indications des différents appareils; aussi les accidents arrivent-ils généralement le matin, au moment de la mise en marche de la machine.

Le niveau d'eau peut baisser indépendamment de la volonté du chauffeur par la diminution du volume de l'eau à une température plus basse, et par des fuites qui n'existent que trop souvent aux bouilleurs, surtout lorsqu'il y a interruption de travail pendant un ou plusieurs jours.

Le soin de faire le feu est ordinairement confié à un homme de peine qui commence son travail une demi-heure avant l'arrivée du mécanicien, et qui ne connaît rien aux appareils placés dans la salle des générateurs, où il n'entre même pas. Ne se rendant pas compte du danger, il rougit infailliblement la chaudière, si elle est complétement ou en partie vidée.

Lorsque le mécanicien arrive, il n'est pas obligé

d'attendre la mise en marche de sa machine pour alimenter avec la pompe ; il peut introduire de l'eau dans une chaudière, soit en la mettant en communication avec une autre par les robinets du tuyau d'alimentation, soit en y faisant arriver l'eau par un ballon ou retour d'eau.

Une personne malintentionnée, un chauffeur distrait ou pris de boisson peut vider un générateur : 1° en ouvrant le robinet de vidange ; 2° en ouvrant le robinet d'alimentation sur une chaudière, croyant fermer celui de la chaudière dans laquelle il alimentait ; 3° en négligeant de fermer ses robinets sur le tuyau d'alimentation lorsqu'il a la déplorable habitude d'alimenter plusieurs chaudières en même temps.

La communication de vapeur entre deux chaudières étant interceptée, si on les laisse en communication par les tuyaux d'alimentation, il arrive que pendant la nuit il s'établit une différence de pression ; alors l'eau de la chaudière où la pression est plus forte passe dans celle où la pression l'est moins ; le matin, le chauffeur, en poussant activement ses feux, rougit l'une et élève suffisamment la pression de l'autre pour forcer l'eau de celle qui en a le plus à retourner dans celle qui est en tout ou en partie vidée, et par conséquent rougie.

Convaincu de l'insuffisance des moyens de sûreté en usage et de la nécessité de supprimer la cause première de la plupart des explosions, je me suis proposé d'empêcher d'une manière absolue toute alimentation dès que le niveau de l'eau est descendu pour une cause quelconque au-dessous de son minimum.

L'appareil que j'ai combiné à cet effet repose sur la suppression forcée de toute alimentation par la fermeture du robinet, opérée au moyen d'un flotteur régulateur.

La chaudière *a* (Pl. II, *fig.* 1) et les bouilleurs *b* sont disposés comme d'ordinaire dans le fourneau *c*.

Le niveau A de l'eau dans la chaudière est à son maximum; la ligne A′ indique le niveau minimum à partir duquel l'appareil de sûreté doit fonctionner. Le flotteur *d*, qui l'actionne, est indépendant du flotteur ordinaire. La tige *e* est suspendue au secteur *f*, dont le levier pivote en *g*, reçoit plus loin une tige verticale *h*, et se termine par un contre-poids *i*.

A la tige de suspension *h*, est assujettie par une vis de pression rivée, à la hauteur convenable, une bague *j*, qui au moment où le flotteur *d* atteint, par un manque d'alimentation, le niveau A′ (minimum) d'eau nécessaire dans la chaudière pour empêcher que la tôle ne commence à rougir, vient presser au-dessous de l'extrémité de droite de la bascule *l* pivotant en *m*, tandis que l'extrémité de gauche de cette bascule se dégage du crochet *n* et l'abandonne à l'action du contre-poids *p*. Or ce dernier a pour fonction, aussitôt le dégagement du crochet *n*, de faire décrire un quart de cercle au levier *r*, commandant la clef du robinet d'alimentation *t*, et, pour surcroît de sûreté, d'un sifflet d'alarme *x*.

Le robinet d'alimentation *t* communique avec la boîte *z*, placée sur la chaudière.

Un branchement *o* est piqué sur le tube d'alimentation *y*, et muni d'un robinet intermittent *k* à la disposition du chauffeur.

A l'état normal d'alimentation, ou niveau supérieur A du générateur, le robinet d'alimentation *t* est maintenu ouvert par l'engagement du crochet *n* dans l'extrémité de gauche de la bascule *l*. Le chauffeur peut alors alimenter à volonté par le robinet *k*; mais si par négligence ou par-toute autre cause l'eau descend dans

le générateur au niveau inférieur A', le flotteur *d* entraîne le secteur *f*, fait dégager le crochet *n*, et aussitôt le contre-poids *p* fait fermer le robinet d'alimentation *t*. Dès lors le chauffeur ne peut plus alimenter par le robinet *k*.

Les traits en pointillé indiquent la disposition d'un appareil qui peut former le complément du précédent, en lançant sur le feu un jet d'eau qui détermine son extinction rapide.

APPAREIL CONTROLEUR

DES MATS DE SIGNAUX DE CHEMINS DE FER.

Par MM. DUFAU et HARDY.

Cet appareil a pour but de faire connaître, sans possibilité d'erreur, dans les gares, si les mâts de signaux placés en avant des stations pour avertir les trains, tant le jour que la nuit, fonctionnent comme ils le doivent.

La nécessité de semblables appareils pour empêcher les accidents s'est fait sentir depuis longtemps, et déjà plusieurs essais ont eu lieu, mais aucun n'a encore pleinement réussi. Ainsi, sur les chemins de fer de Lyon et d'Orléans, on applique un système (sonnerie trembleuse) qui renseigne sur les évolutions des mâts pendant le jour, mais nulle part on n'est averti la nuit, et surtout pendant le brouillard, de l'extinction des lanternes des mâts.

Notre appareil indique presque instantanément et d'une manière continue, non-seulement la position des disques pendant le jour, mais l'état de la lumière des lanternes pendant la nuit, et quelque temps qu'il fasse (1). Son application est simple et facile; elle n'exige

(1) L'indication de l'état du fanal est la partie essentielle et originale de l'appareil de MM. Dufau et Hardy. Il a été appliqué à l'un des mâts placés au delà des souterrains des Batignolles (chemin de l'Ouest). Des espériences, faites par l'ordre de M. le ministre des travaux publics, ont donné de très-bons résultats.

C.

aucun changement dans la disposition actuelle des mâts de quelque système qu'ils soient. Il fonctionne sans le concours des employés, et même tout le système est disposé de manière à être à l'abri de leurs atteintes, ainsi que des intempéries et accidents atmosphériques. Enfin, comme la distance plus ou moins grande des mâts ne modifie nullement ses indications, son emploi doit nécessairement permettre de supprimer les mâts de rappel et les appareils à glace placés sur certains points ou les mâts de signaux sont masqués par des obstacles.

Le système de cet appareil est purement électro-magnétique, et consiste dans l'établissement d'une relation électrique entre la station et le mât de signaux. Le mouvement du disque dans ses évolutions pour faire les signaux de voie libre et voie fermée, a pour effet, au moyen d'un commutateur installé sur le mât, de faire apparaître ces mêmes signaux à la station sur un appareil électrique ou récepteur établi en conséquence. De plus, en adaptant à la lanterne un thermoscope différentiel, on rend les indications de l'appareil solidaires de la lumière placée sur le mât ; de sorte que si cette lumière vient à descendre trop bas ou à s'éteindre, la relation électrique cesse, comme elle cesse quand le mât n'a pas accompli ses fonctions réglementaires. Dans ce double cas, une sonnerie d'alarme se fait entendre et prévient à la station qu'il est survenu quelque accident dans la disposition du mât.

Le commutateur adapté au mât se compose de deux excentriques fixés à l'axe même du mât.

Ces excentriques appuient sur des ressorts doubles en acier et les forcent à venir au contact pour former le circuit à droite et à gauche, suivant que le mât est tourné au blanc ou au rouge.

Tout le commutateur, à l'exception des excentriques, est enfermé dans une boîte en fonte de fer.

Le récepteur placé à la station se compose :

De deux électro-aimants dont les armatures commandent, par un système de leviers, deux petits disques, un blanc et un rouge, qui viennent se présenter devant une ouverture de la boîte du récepteur, en répétant la position du mât de signaux.

Quant à l'appareil de la lanterne, ou thermoscope différentiel, il est formé de deux thermomètres métalliques superposés, de dimensions différentes ; l'un d'eux est isolé électriquement de toute la boîte, et le circuit se complète lorsque la lampe étant allumée les deux thermomètres viennent se toucher par leur vis de contact. Ces deux thermomètres sont placés symétriquement, de sorte qu'ils ne se touchent jamais qu'en vertu de leur différence de courbures, disposition nécessaire pour que les indications de l'appareil ne soient pas influencées par les divers états de la flamme et les conditions atmosphériques dans lesquelles il se trouve.

Le courant électrique part de la pile P (Pl. II, *fig.* 2, 3, 4) arrive par la terre aux ressorts H et H' mis en contact pendant le jour par le poids du porte-lanterne F ; de là il descend dans le commutateur *c*. Ce commutateur est composé de deux ressorts d'acier *b* et *r* enveloppées d'une boîte de fonte de fer pour les garantir.

Lorsque le mât est tourné au blanc, l'excentrique E presse sur le ressort *b* et l'amène au contact du fil I, ce qui permet au courant de suivre la direction OH' HZI*b*US....

Si le mât est tourné au rouge, l'électricité prend le chemin OH'HZI*r*VX, passe dans l'électro-aimant A' du récepteur, le rend actif et rejoint la pile P.

L'électro-aimant A' du récepteur étant actif attire son ar-

mature, et par un système de leviers force un disque rouge à paraître derrière l'ouverture pratiquée dans la boîte du récepteur.

Si le mât n'est pas suffisamment tourné, les ressorts *b* et *r* du commutateur ne sont pas pressés par les excentriques E et E'; le circuit est donc interrompu en ce point. Les électro-aimants A et A' du récepteur sont inactifs et le courant passe par leurs armatures pour venir faire marcher la sonnerie trembleuse T.

Pendant la nuit, la lanterne est hissée en haut du mât; les ressorts H et H' sont écartés, ce qui rompt le circuit en ce point, mais il est rétabli par la lanterne et le thermoscope différentiel. Le mât étant au rouge, le courant arrive par OGK, traverse le thermomètre métallique N amené en contact de la vis D par la chaleur, et suit la route M H Z I *r* V X A' comme pendant le jour.

On voit donc que le circuit se trouve complété et fermé par les thermomètres métalliques N quand ils sont courbés par la chaleur; aussi, dès que la lampe s'éteint ou baisse par trop, les thermomètres se séparent, le circuit est rompu et la sonnerie d'alarme se fait entendre.

Dans ce cas, la sonnerie ne cessera de fonctionner que lorsque l'on aura été remettre la lampe en état.

EXAMEN ET TRANSFORMATION

DES MACHINES DU SYSTÈME ENGERTH,

A HUIT ROUES COUPLÉES.

Par M. COUCHE,
Ingénieur en chef, professeur à l'École des mines.

Dispositio
qui caracté
ces machin

Dans les machines construites sur les plans de M. Engerth, le châssis du tender, réuni par une articulation au châssis principal, est supporté par deux ou trois essieux, dont l'extérieur est placé sous la chaudière. La boîte à feu s'appuye ainsi sur l'arrière-train, à droite et à gauche, entre deux points d'appui des longerons du tender.

Le but du constructeur était de concilier une grande longueur de chaudière, et par suite une grande puissance et un grand poids, avec une flexibilité suffisante du véhicule et une limite assez basse de la charge par essieu. Mais quand on applique cette disposition à une machine à petites roues, à laquelle on demande, non de la vitesse, mais un grand effort de traction, l'adhérence manque; elle est souvent, si ce n'est toujours, inférieure au quotient du travail dynamique effectif disponible sur les roues motrices, par la vitesse, c'est-à-dire à l'effort de traction que le moteur est capable de développer à cette vitesse.

On a essayé de transmettre, par des engrenages, le mouvement de rotation du premier groupe d'essieux parallèles, solidaire avec la machine, au second groupe, solidaire avec le tender, et muni, comme l'autre, de bielles d'accouplement; mais l'expérience n'a pas tardé

à condamner cet expédient déjà tenté d'ailleurs, et emprunté à un constructeur américain.

Le tracé de deux réseaux français (Est et Nord), sur lesquels les machines Engerth ont été adoptées spécialement en vue de la traction des charbons, permettant de pousser plus loin qu'en Allemagne l'écartement des essieux extrêmes, on songea à profiter de cette faculté pour augmenter l'adhérence. L'essieu antérieur du second groupe en fut donc distrait pour être rattaché au premier. Sur les douze roues qui supportent le système, huit sont donc couplées; l'écartement des essieux rigides est de $3^{m},95$, cote dépassée dans d'autres machines et notamment dans celles du système Crampton.

L'arrière-train n'est plus dès lors supporté que par deux essieux, placés l'un et l'autre derrière la boîte à feu, et celle-ci s'appuie sur les prolongements en porte-à-faux des longerons du tender, à plus de 2 mètres de l'axe de l'essieu antérieur du deuxième groupe.

On a cru voir dans cette disposition un perfectionnement.

Il est clair, en effet, qu'on gagne un peu d'adhérence.

Mais 1° n'est-ce pas en sacrifiant ce que les partisans des machines Engerth à petite vitesse font valoir comme leur propriété caractéristique, c'est-à-dire l'uniformité de la répartition sur les essieux?

2° Ce bénéfice de l'adhérence n'est-il pas d'ailleurs *complètement insignifiant?*

3° Ne peut-on pas *à la fois l'accroître et réduire le maximum de charge par essieu*, c'est-à-dire s'assurer précisément les avantages qu'on a cru réaliser par l'adoption du type de M. Engerth, et cela par un moyen bien simple, l'abandon de ce type?

C'est ce dont personne n'a cherché à se rendre compte.

Examen des effets de la liaisi de la machi et du tend en ce qui concerne la répartiti du poids sur les essie

Toute la question se réduit à comparer les poids totaux supportés par les quatre essieux couplés et la répartition de ces poids :

1° La machine étant dans son état normal, accouplée au tender;

2° La machine étant séparée du tender, et au besoin sa répartition convenablement modifiée.

Lorsque j'exprimai le désir de faire cette comparaison, on m'objecta que les bascules à douze ponts, construites spécialement pour les machines dont il s'agit, ne pourraient résister à « la charge énorme » que supporterait la quatrième paire de roues de la machine découplée.

Cette objection reposait sur une erreur : elle suppose le centre de gravité de la machine proprement dite, bien plus rapproché de l'arrière qu'il ne l'est en réalité. La pesée fut faite. Rien ne se brisa; rien ne pouvait se briser en effet, car, au lieu de l'énorme charge alléguée, la quatrième paire de roues portait 11.505 kil. d'après la pesée faite sur l'appareil à douze ponts des ateliers du Nord, et 12.000 kil. d'après la pesée faite à l'Est au moyen d'un six ponts (1) (voir plus bas).

---

(1) A défaut de l'appareil à douze ponts du chemin du Nord, dont on n'avait pas la libre disposition, il a fallu se contenter des simples six ponts du chemin de l'Est. Pour les pesées de machines découplées, ces appareils suffisaient parfaitement : les deux roues intermédiaires de chaque file étaient portées par le pont du milieu, ce qui n'avait aucun inconvénient, puisque ces deux roues sont chargées par un ressort commun, et par suite également. On pouvait craindre seulement pour les deux bascules du milieu, mais elles ont très-bien résisté.

Quant aux pesées de machines accouplées, elles ne pouvaient se faire que par deux opérations successives donnant : l'une, la charge de trois essieux; l'autre, celle des trois autres. On recommençait ensuite en sens contraire. On avait d'ailleurs d'autres vérifications : le poids total, connu, et l'égalité des

Voici d'abord le poids de la machine accouplée :

Vide, elle pèse 46 tonnes ainsi réparties (chiffres donnés par le constructeur) :

1er essieu	10.500 kilog.
2e essieu	7.750
3e essieu	8.250
4e essieu	8.300
5e essieu	5.500
6e estieu	5.700
	46.000

Le poids de la machine en service, comprenant le remplissage de la chaudière jusqu'à $0^m,20$ au-dessus du ciel du foyer, environ 600 kil. de combustible dans le foyer, l'approvisionnement du tender et les agrès, s'élève à 65 tonnes environ.

Quant à la répartition normale, elle est :

1° D'après le constructeur (usine du Creusot) :

	kil.		
1er essieu. . .	10.550	Poids adhérent. . . .	41.310
2e essieu. . .	9 800		
3e essieu. . .	9.900		
4e essieu. . .	11.060		
5e essieu. . .	10.400	Poids non adhérent. .	21.710
6e essieu. . .	11.600		
		Total.	63.010

2° D'après la réglementation du chemin de fer du Nord :

	kil.		
1er essieu. . .	10.100	Poids adhérent. . . .	40.300
2e essieu. . .	9.200		
3e essieu. . .	9.900		
4e essieu. . .	11.100		
5e essieu. . .	10.900	Poids non adhérent. .	22.500
6e essieu. . .	11.600		
		Total.	62.800

charges sur les deux roues du milieu. En somme, les pesées étaient moins commodes et moins expéditives qu'avec ces douze ponts : mais elles étaient tout aussi exactes.

Mais la pesée (machine n° 172) faite à l'Est a donné:

	kil.		
1er essieu. . .	10.581	Poids adhérent. . . .	39.313
2e essieu. / 3e essieu. ..	20.134		
4e essieu. . .	8.598		
5e essieu. . .	13.106	Poids non adhérent. .	23.286
6e essieu. . .	10.180		
		Total.	62.599

Or, la pesée de la machine *découplée* a donné : au Nord (avec 800 kilogr. uniformément répartis sur la grille), 41.420 kil. ; à l'Est, avec 600 kil. (charge habituelle dans le foyer), 40.721 kil. répartis comme il suit :

1er essieu.	7.230 kil.
2e essieu. / 3e essieu.	21.488
4e essieu.	12.002
	40.720

La charge totale sur rails des huit roues de la machine proprement dite est donc de 40 tonnes en moyenne quand les deux parties de l'appareil sont réunies : de 41 tonnes quand elles sont séparées. L'accouplement de la machine et du tender a pour effet de reporter sur les longerons de celui-ci 1.120 kil., *soit* 1/37 *du poids de la machine proprement dite*, d'après les pesées du Nord; 1.400 kil., *soit* 1/28 *du poids de la machine*, d'après les pesées de l'Est!

Objectera-t-on que moins le tender porte, mieux cela vaut, puisque l'adhérence est d'autant moins réduite! soit. Mais alors il faut être logique jusqu'au bout, et laisser à l'adhérence toute sa valeur, en rendant à la machine son indépendance, puisqu'il ne s'agit que de répartir sur ses huit roues cette insignifiante fraction de 1/37 ou 1/28 de leur charge.

Dira-t-on que ces roues sont déjà trop chargées, que

ces 1.100 ou 1.400 kil. combleront la mesure? Assurément, la charge de certaines roues est déjà trop forte; mais ce n'est parce que le poids total est trop considérable, c'est parce qu'il est mal réparti, quoique l'uniformité fût, d'après les partisans du système, sa raison d'être dans le cas dont il s'agit.

Les longerons du tender ne supportant qu'une fraction tout à fait insignifiante du poids de la machine, la répartition de la charge sur les six essieux étant d'ailleurs très-peu satisfaisante, puisque l'écart atteint 1t,5 d'après le constructeur, et jusqu'à 3t,7 d'après l'Est, il est évident que la machine Engerth des chemins du Nord et de l'Est est une de ces erreurs dans lesquelles tombent parfois les praticiens les plus exercés.

Si on tient à construire encore des machines de 200 mètres quarrés de surface de chauffe, il faut tout simplement appliquer toute la charge sur les quatre essieux, en s'attachant, ce qui est facile, à obtenir une répartition plus uniforme, de manière à rester au-dessous de la limite atteinte dans la machine actuelle.

L'égalité rigoureuse serait facilement obtenue en renonçant à l'élargissement de la boîte à feu et reportant tous les essieux vers l'arrière, sans rien changer d'ailleurs à leurs distances relatives.

D'après la répartition donnée par la pesée de la machine seule, faite au chemin du Nord, son centre de gravité est 0m,348 en avant de l'axe du troisième essieu (moteur); la pesée de la machine de l'Est donne pour cette distance 0m,39. Pour que la répartition uniforme fût possible avec les mêmes entre-axes, il faudrait que cette distance fût portée à 0m,637. Or, les roues et essieux, dont le poids total est 7.700 kil., ont leur centre de gravité à 0m,60 de l'essieu moteur. On

en déduit, en partant des chiffres les plus défavorables, ceux du Nord, que le centre de gravité du poids suspendu (33.720 kil.) est à $0^m,29$ en avant de l'essieu moteur, et que l'ensemble des essieux devait être reporté de $0^m,355$ vers l'arrière pour que la distance du centre de gravité général à l'axe de l'essieu moteur, fût portée à $0^m,637$. En réalité, l'amplitude de déplacement serait sensiblement moindre, parce que j'ai négligé l'influence des pièces qui accompagneraient les essieux dans leur translation, c'est-à-dire les ressorts de suspension, leurs broches, les plaques de garde, les boîtes à graisse, etc. Rien ne forcerait d'ailleurs à reculer autant le premier essieu, si l'on craignait d'augmenter le porte-à-faux de la partie des longerons qui porte les cylindres. Il est inutile, au surplus, d'insister sur la possibilité de remplir, à très-peu près, en faisant le projet d'une machine à huit roues, avec foyer en porte-à-faux, la condition $x = \frac{l + 2l' - l''}{4}$ (Pl. II, *fig.* 7) à laquelle correspond l'uniformité de répartition, réalisable par le règlement des ressorts (1).

La machine Engerth à huit roues couplées (*fig.* 4), telle qu'elle a été appliquée sur les chemins de l'Est et du Nord, ne soutient donc pas l'examen. On ne peut même pas justifier sa disposition par la nécessité de soutenir l'arrière de la chaudière dans les soubresauts de la machine. Cette considération, fondée pour des machines à marche rapide, est tout à fait hors de cause *Découplement des machines actuelles.*

(1) Exemple : la machine *Vienne-Raab*, construite par M. Haswel dans les ateliers de la société des chemins de fer autrichiens à Vienne, exposée à Paris en 1855, et livrée au chemin de fer du Midi.

pour des machines à allure aussi lente que celle des locomotives à marchandises.

Il ne peut donc plus être question de construire de semblables machines. Mais on doit se demander s'il n'y a rien à faire pour celles qui existent, si elles ne peuvent pas être facilement ramenées aux conditions logiques, celles de l'indépendance. Si cette transformation est possible à peu de frais, si en augmentant l'adhérence elle diminue le maximum de la charge par paire de roues, il n'y a évidemment pas à hésiter, puisque, à ces deux avantages, se joint la suppression des inconvénients très-graves qu'entraîne la solidarité.

Inconvénients de la solidarité de la machine et du tender.

On est loin, en général, d'apprécier ces inconvénients à leur juste valeur. Les uns frappent surtout les ingénieurs chargés de la direction du service, et auxquels certains détails échappent : les autres touchent plus spécialement les mécaniciens, les chefs de dépôt, les chefs de gare, en un mot le personnel qui manie ces puissants instruments, ou les voit continuellement en œuvre.

La machine Engerth n'est pas seulement gênante et coûteuse par les installations spéciales qu'elle exige, par la nécessité de renvoyer l'appareil aux ateliers pour une simple réparation à faire au tender, par l'écrasement fréquent des bandages très-chargés du cinquième essieu, par les avaries continuelles de son immense foyer, etc. Elle est loin, de plus. de posséder la flexibilité complète qu'on lui attribue. En cas de déraillement (accident auquel elle est plus particulièrement sujette tant à cause de sa roideur que par suite des ruptures de rails qu'elle détermine plus souvent que toute autre machine), elle encombre les voies pendant très-longtemps à cause de la difficulté de séparer les deux parties de l'appareil, les pièces de jonction étant généra-

lement gauchies et soumises à des efforts énormes.

Ce que je critique, d'ailleurs, ce n'est pas le principe même de la machine, mais son application et la modification malencontreuse qu'on lui a fait subir. Ainsi que je l'ai déjà fait remarquer ailleurs (1), la disposition imaginée par M. Engerth peut convenir pour des machines destinées à prendre une certaine vitesse. Dès que celle-ci atteint 50 kilom. environ, la considération de la stabilité, de la régularité d'allure, hors de cause à la vitesse des trains de marchandises, peut être justement invoquée. Quand il faut, d'une part, une grande puissance et de la flexibilité, de l'autre de la vitesse, cas dans lequel une adhérence partielle suffit, la solidarité est justifiée, puisqu'elle fait disparaître le porte-à-faux de la boîte à feu et l'instabilité qui en résulte. Les machines à voyageurs et à quatre roues couplées, de $1^m,80$, spécialement affectées sur le chemin du Nord au service des trains de Boulogne, dits : de marée, sont par exemple à l'abri de toute critique. Il en est de même des machines analogues (sauf le moindre diamètre des roues en rapport avec la lenteur relative de la marche) adoptées sur plusieurs chemins suisses.

Quant aux machines aux marchandises, les avantages que quelques ingénieurs attribuent à l'unité du moteur sont au moins très-contestables quand on atteint une pareille limite de puissance. L'économie n'existe ni dans l'achat (les machines dont il s'agit coûtent plus de 100.000 fr.), ni dans l'entretien, tant s'en faut, ni dans la consommation. Reste le personnel ; mais en admettant que ces colossales machines fassent

---

(1) Rapport au ministre sur l'exploitation de la section de Ponte-Decimo à Busalla (chemin de fer de Turin à Gênes). — *Annales des ponts et chaussées*, t. XIV, 1858.

ressortir, en définitive, une certaine économie sur les frais de traction, quand les conditions du trafic permettent de les faire marcher presque toujours à charge complète, il est constant que l'action de huit roues couplées solidaires, dont les diamètres ne sont jamais tous rigoureusement égaux, et procédant dès lors par glissements continuels, sous des charges très-considérables, est pour la voie une cause incessante de dégradation (1).

Les ingénieurs du matériel se préoccupent peu de cette considération; mais sur un chemin bien administré, elle devrait entrer en première ligne. On ne doit regretter qu'à demi la cherté des bandages de qualité supérieure. Les bandages médiocres sont aujourd'hui la seule sauvegarde des rails. C'est seulement lorsqu'ils s'usent et s'écrasent que le service du matériel reconnaît la nécessité de limiter la charge des roues (2). Mais le mal peut être bien grave pour la voie avant d'être sensible pour les bandages: d'un côté, parce que ceux-ci sont en meilleur fer; de l'autre, parce que la partie n'est pas égale entre eux et les rails, placés

---

(1) Des expériences très-intéressantes, faites par M. Deloy au chemin de fer de Lyon sur la consommation des machines *sans charge*, ont mis en évidence l'influence très-aggravante de l'accouplement sur la résistance au mouvement. Cet excès de résistance provient évidemment, en grande partie, des glissements dus à l'égalité des vitesses angulaires avec des diamètres différents.

(2) C'est ainsi qu'une paire de galets a été intercalée après coup entre le premier et le deuxième essieu des machines à six roues couplées, livrées au chemin du Nord par le Creusot et au Nord-belge par l'usine de Seraing. Avant cette modification, imposée par l'écrasement des bandages, les essieux des roues antérieures portaient 14 tonnes. La charge de la paire de galets est de 3 à 4 tonnes.

dans des conditions de travail moléculaire bien plus défavorables. Quant au service de la voie, il accepte la position qui lui est faite, et cherche à lutter par l'amélioration de la qualité des rails, par l'augmentation de leur poids; les administrateurs, auxquels on présente un prix de revient de traction satisfaisant, n'en demandent pas davantage, et se résignent aux charges de l'entretien de la voie comme à un mal nécessaire. Sans doute, l'influence destructive de l'exagération de la charge par roue et de l'exagération du nombre des roues couplées n'a pas été et ne peut guère être appréciée exactement. La comparaison du renouvellement des rails sur des réseaux ou mieux sur des sections d'un même réseau convenablement choisis, pourrait cependant conduire à quelques conséquences plausibles.

Applicati[on] d'un lest à l'av[ant]

Revenons à la question, celle de la transformation des machines Engerth à huit roues couplées.

A défaut du déplacement des essieux, il existe un moyen bien plus simple de reporter vers l'avant le centre de gravité général, c'est l'emploi d'un lest.

L'application d'un poids mort à une locomotive est certainement une mauvaise chose en soi-même. C'est toujours un replâtrage; mais si ce poids n'est qu'une très-faible fraction du poids total de l'appareil, et s'il améliore beaucoup la répartition, le mal est presque nul, et les avantages évidents.

Cet expédient a été, en définitive, la seule solution pratique de la question si longtemps agitée de la transformation des machines-tender du chemin du Midi. Le service de ces machines était décidément intolérable à cause de la charge excessive que portaient les roues d'arrière, malgré l'insuffisance de l'approvisionnement d'eau, qu'il fallait compléter au moyen d'une caisse



installée sous le châssis des fourgons à bagages et remplie séparément; disposition doublement vicieuse, par parenthèse, car elle augmentait le temps perdu aux prises d'eau, et rendait très-pénible et coûteuse la manœuvre à bras des fourgons ainsi lestés. Les caisses à eau, dont la machine était encombrée, masquaient, de plus, les organes et les rendaient inaccessibles. Il fallut donc supprimer tout cet attirail et revenir au tender séparé; mais alors c'est l'essieu antérieur qui se trouve surchargé; de là la nécessité d'un lest considérable, installé sous la plate-forme du mécanicien, pour ramener le centre de gravité vers la région moyenne.

L'application d'un lest est d'ailleurs bien plus acceptable pour les machines à marchandises, qui marchent toujours près de leur limite d'adhérence, et pour lesquelles ce poids mort est négligeable devant le poids total du train.

Les machines Engerth de l'Est et du Nord sont, de plus, par suite de la grande saillie des cylindres à l'avant, très-bien appropriées à l'application d'un lest, qui se loge facilement entre les cylindres et agit dès lors avec un grand bras de levier.

Ce poids, ayant son centre à $1^m,35$ de l'essieu antérieur, devrait être de $4^t,47$, pour que le centre de gravité général fût à $0^m,637$ de l'essieu moteur.

Rien n'empêche, d'ailleurs, de s'arrêter au-dessous de cette limite, l'uniformité rigoureuse n'étant pas indispensable.

ıchine périences e chemin : de l'Est.

Il a suffi de communiquer ces observations à M. Sauvage, ingénieur en chef du matériel du chemin de fer de l'Est, pour le déterminer à faire immédiatement découpler une machine Engerth qui a été munie d'un lest, attelée à un tender ordinaire, et mise en service.

Les *fig.* 5 et 6, Pl. II, représentent les dispositions prises provisoirement pour l'attelage, et rendues nécessaires par l'absence de longerons à l'arrière de la machine. Deux faux-longerons *t*, *t* ont été fixés aux entretoises *l*, *l* qui reliaient les longerons du tender à la traverse *h* du pivot, et à leurs extrémités a été boulonnée une traverse en bois qui reçoit l'attelage. Les faux-longerons plongent un peu vers l'arrière, la hauteur des tampons étant moindre dans les tenders ordinaires que dans les machines Engerth.

Le lest a été provisoirement placé sur la plate-forme antérieure au-dessus des cylindres; il a été fixé à 3.500 kil., et la pesée a donné la répartition suivante :

1er essieu	10.900 kilog.
2e essieu. } 3e essieu. }	22.780
4e essieu	11.800
	45.480

Pour une transformation définitive, on supprimerait le pivot et toute son armature *ll'h*, ce qui améliorerait encore la répartition.

La machine modifiée fonctionne régulièrement depuis trois mois. Il résulte des rapports des ingénieurs du matériel que son allure est très-régulière, qu'elle a les mouvements beaucoup plus souples et patine moins que dans son état primitif; que la transformation ne présente, en un mot, que des avantages.

Quant au tender qui, plein et libre, a nécessairement une répartition détestable (roues d'avant, 8.140 kil., roues d'arrière, 15.504), il n'y aurait évidemment pour obtenir l'égalité des charges qu'à reculer l'essieu d'arrière.

N. B. — Il existe d'autres machines à marchandises dont la répartition très-vicieuse, serait fort améliorée par l'application

d'un lest à l'arrière. Telles sont, entre autres, les machines Engerth à six roues couplées construites au Creusot pour le chemin de fer du Dauphiné. Ces machines appartiennent au type Engerth pur, c'est-à-dire que le foyer s'encadre entre les essieux du tender. La répartition est la suivante, *d'après le constructeur :*

(Machine garnie.)

	kil.		
1er essieu	12.750	Poids adhérent	37.750
2e essieu	12.500		
3e essieu	12.500		
4e essieu	8.200	Poids non adhérent	17.350
5e essieu	9.150		
		Total	55.100

Si l'exagération de la charge des essieux couplés n'a pas encore produit d'effets très-sensibles sur les rails, c'est que le chemin est neuf, la voie solidement constituée, et le trafic très-faible; mais l'exagération n'en est pas moins évidente. Rien ne serait plus facile que d'y remédier en appliquant un lest à l'arrière.

ÉTUDES ET EXPÉRIENCES SYNTHÉTIQUES
SUR LE MÉTAMORPHISME
ET SUR LA FORMATION DES ROCHES CRISTALLINES.

Par M. DAUBRÉE,
Ingénieur en chef des mines, doyen de la Faculté des sciences de Strasbourg.

MÉMOIRE COURONNÉ PAR L'INSTITUT (ACADÉMIE DES SCIENCES),
dans la séance publique du 30 janvier 1860 (1).

INTRODUCTION.

In varietate unitas (LEIBNITZ).

Une des premières et plus importantes questions que la géologie ait été appelée à résoudre, c'est de reconnaître quelle est, dans la formation du revêtement solide du globe, la part qu'il faut faire à l'action aqueuse et celle que l'on doit attribuer à l'action ignée. La question, quoique débattue depuis longtemps, n'a pas encore reçu de solution définitive; elle s'est même compliquée depuis qu'en étudiant plus rigoureusement les divers terrains, on en a trouvé partout qui présentent manifestement l'empreinte d'une double origine. Est-ce au moment même où ils se formèrent que ces terrains ambigus ont acquis leur double caractère, ou bien l'un de ces caractères est-il consécutif à l'autre, et, dans ce dernier cas, comment se rendre compte d'une pareille

(1) Ce travail est reproduit ici, tel qu'il a été présenté à l'Académie des sciences au mois de septembre 1859, sauf quelques développements que je n'avais pu placer, faute de temps, dans la rédaction première et qui, par suite, manquent au mémoire, tel qu'il est imprimé dans le *Recueil des mémoires de l'Académie des sciences* (savants étrangers), t. XVII.

succession d'effets? Tels sont les sujets dont l'étude constitue dans sa plus grande généralité la partie de la géologie que l'on a appelée *métamorphisme.*

Quand les réactions que les régions intérieures du globe exercent sur sa surface se manifestent par des phénomènes journaliers, comme les sources thermales, les éruptions de volcans, les tremblements de terre, ou par des effets dont l'homme n'a pas été témoin, mais dont il retrouve les traces grandioses, comme les éruptions de roches, le soulèvement des chaînes de montagnes, c'est un sujet d'étude, plein d'attrait et dont chacun s'occupe volontiers. Mais quand ces mêmes réactions n'ont produit que des modifications lentes, occultes, inaccessibles à l'observation directe par la profondeur à laquelle elles ont eu lieu et ont lieu sans doute encore aujourd'hui, on conçoit qu'elles excitent incomparablement moins l'intérêt, et qu'elles présentent d'ailleurs des difficultés d'investigation particulières. Cependant si l'on considère que ces grandes transformations se sont exercées sur une portion notable de l'écorce terrestre; que selon toute probabilité leur importance s'accroît à partir de la surface, au point qu'elles deviennent prédominantes dans les profondeurs; qu'enfin elles sont en connexion intime avec toutes les autres manifestations de l'activité interne du globe, il faut reconnaître que leur étude mérite bien la plus sérieuse attention.

C'est cette étude du phénomène, tel qu'il nous est possible de le comprendre aujourd'hui, que je présente dans ce travail. Je le diviserai en trois parties : la première sera consacrée à l'historique de la question; la seconde, à l'exposition des faits que l'on peut considérer comme acquis, et auxquels devront satisfaire les explications théoriques qui forment le sujet de la troisième partie.

J'ai donné un certain développement à la partie historique. Signaler les efforts par lesquels ont été graduellement conquises les idées théoriques que nous possédons aujourd'hui n'est pas seulement un juste hommage rendu à ceux qui ont éclairé la science par leurs travaux; c'est aussi un avertissement salutaire contre les illusions spéculatives. Les entraînements de l'imagination sont d'autant plus à redouter dans le domaine de la géologie que l'induction fondée sur l'observation y manque le plus souvent d'un contrôle.

Quoique les citations historiques soient nombreuses, elles présentent encore bien des lacunes; mais pour ne pas trop allonger cet aperçu, j'avertis que je me restreins aux travaux fondamentaux.

PREMIÈRE PARTIE.

HISTORIQUE.

CHAPITRE PREMIER

ÉTAT DE LA GÉOLOGIE A L'APPARITION DU SYSTÈME DE HUTTON.

Idées géologi jusqu'à la du 18e siéc

Il y a eu dans ces deux derniers siècles des hommes qui, sans être ce qu'on appelle maintenant géologues, ont émis sur le système du globe des idées tellement remarquables, qu'ils ont eu une influence incontestable sur les travaux de ceux qui depuis lors ont spécialement étudié cette partie de la science.

Descartes

Ainsi Descartes considéra la terre comme un astre refroidi à sa surface qui conserve dans son intérieur un *feu central*, cause du retour des eaux d'infiltration vers la surface, de l'arrivée des métaux dans les filons et des dislocations de l'enveloppe solide (1).

---

(1) Les *Principes de la philosophie* de Descartes ont paru d'abord en 1644, édition latine d'Amsterdam. Le génie perçant

De cette même hypothèse d'une fluidité initiale, Newton déduisit, par le calcul, l'aplatissement que devait présenter le sphéroïde terrestre (1), et Halley adopta cette idée.

ibnitz. Plus tard, Leibnitz s'inspirant à la fois des idées de Descartes et des observations si judicieuses de Stenon, écrivit un ouvrage qui, malgré la rareté inévitable des faits sur lesquels il repose, porte toute l'empreinte du génie qui l'a conçu (2).

ffon. C'est à cette source, on ne peut le méconnaître, que l'illustre auteur des *Époques de la nature* puisa ses inspirations les plus profondes (3).

Les ouvrages de Buffon, tout en excitant au plus haut degré l'attention, ne pouvaient cependant con-

---

de Descartes a comme deviné plusieurs faits généraux que l'observation a depuis lors établis.

« Feignons que cette terre a été autrefois un astre... en sorte qu'elle ne différait en rien du soleil, sinon qu'elle était plus petite... Au-dessus de la croûte intérieure fort pesante, de laquelle viennent tous les métaux, est une autre croûte de terre moins massive qui est composée de pierres, d'argile, de sable et de limon. . Ce n'est pas le seul argent-vif qui peut amener soit les métaux de la terre intérieure à l'extérieure, les esprits et les *exhalaisons* font le semblable au regard de quelques-uns, comme le cuivre, le fer et l'antimoine. » Édition française de 1668 IV[e] partie, § 2, 44 et 72.

(1) *Principia mathematica philosophiæ naturalis.* 1667.

(2) Leibnitz donna un premier aperçu de la dissertation connue sous le nom de *Protogæa* dans les *Acta eruditorum* au mois de janvier 1693; mais ce n'est que trente trois ans après sa mort, en 1749, l'année même où Buffon fit paraître les trois premiers volumes de l'*Histoire naturelle*, que la *Protogæa* parut en entier.

Cet ouvrage remarquable n'a été traduit en français que tout récemment par M. le docteur Bertrand de Saint-Germain.

(3) La *Theorie de la terre* date de 1749. *Les époques de la nature* ne parurent que près de trente ans plus tard, en 1778.

Avant Buffon, Mairan avait développé l'idée de la chaleur centrale à un point de vue particulier.

vaincre ; mais ils frappèrent l'imagination de la manière la plus vive, et par suite ils provoquèrent des observations précises destinées à résoudre les doutes qu'ils avaient soulevés (1).

Ère de la géol positive.

Ce n'est, en effet, qu'à la fin du siècle dernier, à l'époque même où la chimie voyait s'ouvrir un horizon si nouveau par les découvertes des Lavoisier, des Schèele, des Priestley, des Cavendish, que l'histoire du globe commença aussi à se dégager des systèmes préconçus et que l'observation tendit à y prendre la place qui lui appartient. Les faits exacts que des hommes doues du génie d'observation, tels que Agricola, Bernard de Palissy, Stenon, avaient signalés antérieurement, étaient restés comme noyés dans un océan d'hypothèses. Les notions sur l'histoire de la terre que publia l'émule de Buffon comme historien de la nature, Linné, ne présentent que le résumé des faits connus et des idées qui avaient cours à cette époque (2).

De Saussure (3), Pallas (4) et Werner inaugurèrent par des travaux à peu près contemporains l'ère de la *géologie positive*, et tous trois désapprouvant avant tout la hardiesse de Buffon réagirent contre ses idées, même dans ce qu'elles avaient de fondé (5). Les deux pre-

---

(1) L'influence que Buffon a exercée sur les progrès de la géologie a été hautement reconnue par M. Élie de Beaumont. *Leçons de géologie pratique*, p. 24.

(2) *Systema naturæ*. 1775.

(3) De Saussure, né en 1740, commença ses voyages en 1760 et publia en 1779 les premiers volumes de son *Voyage dans les Alpes*, où il a consigné tant de faits importants qui ont servi comme de fondements à la géologie.

(4) Pallas publia en 1777 ses Observations sur les montagnes, et peu d'années après la relation de ses longs voyages.

(5) Ces trois grands observateurs admettaient, comme l'avait fait Linné, que tous les terrains ont été formés par voie aqueuse et que les phénomènes volcaniques sont de purs acci-

miers savants, éminemment observateurs, étaient sobres d'inductions. Mais Werner alla plus loin; il chercha à analyser, à classer, à coordonner les faits, à les décrire dans un langage fixe et précis, et donna à la science le nom de *géognosie* pour l'opposer à la géologie, qui jusqu'alors n'avait guère été qu'un assemblage de conjectures (1).

stème Werner, école Freyberg.

Pour nous reporter aux doctrines qui régnaient quand les idées de métamorphisme ont apparu, nous devons d'abord rappeler les principes fondamentaux du célèbre professeur de Freyberg, notamment ceux qui ont disparu devant les découvertes postérieures.

D'après Werner, le granite et les autres roches cristallines sont des dépôts de la mer, tout aussi bien que les roches stratifiées et fossilifères. A une époque reculée, les diverses matières dont dérivent ces terrains ont été soit dissoutes, soit en suspension dans l'océan. C'est de cet océan *chaotique* que se sont successivement séparés tous les terrains, les uns par voie chimique, les autres par voie mécanique. Cette dernière différence de formation distingue les roches cristallines des roches sédimentaires.

D'après ce système, le granite qui compose les cimes les plus élevés du globe et qui, en outre, supporte les terrains régulièrement stratifiés a été formé le plus anciennement, avec le gneiss et les roches schisteuses cristallines qui lui sont souvent associées. Comme on

---

dents locaux. De Saussure déclarait en 1798, après avoir visité l'Auvergne, qu'il ne pouvait admettre que le basalte ait été formé par le feu ; à plus forte raison repoussait-il cette opinion pour le granite.

(1) A l'aide de faits positifs, que Füchsel avait déjà en partie signalés dès 1762, Werner montra qu'on pouvait établir une sorte de chronologie des événements physiques qui ont concouru à la structure du globe.

n'y trouve jamais de débris organiques, la formation de ces terrains a dû précéder l'existence des animaux et des végétaux, ce qui leur a valu le nom de *primitifs*.

Plus tard, la mer diminua de hauteur, en se retirant dans des cavités intérieures du globe (1). Pendant cette seconde période, elle continuait à opérer une précipitation chimique de silicates; mais, en même temps, elle commença aussi à former des dépôts mécaniques. C'est par ce double procédé chimique et mécanique qu'ont pris naissance les terrains de *transition* ou *intermédiaires* qui renferment, en effet, des roches cristallines associées à des roches sédimentaires contenant des fossiles.

Dans une nouvelle période de décroissement des eaux, se sont formés les terrains *secondaires* dont les montagnes les plus élevées n'atteignent jamais, supposait-on alors, l'altitude des cimes des terrains plus anciens. Ils sont souvent en couches horizontales, et abondent en débris organiques.

Pendant leur consolidation, les terrains ont éprouvé des ruptures d'où sont résultées des cavités de toute dimension : l'eau, en se retirant dans ces cavités, a incrusté, des différentes matières qu'elle tenait en solution, les longues fissures par lesquelles elle y pénétrait, et a donné ainsi naissance aux *filons métallifères*.

Telle est, d'après Werner, l'origine de tous les terrains qui composent l'écorce du globe, à part toutefois les alluvions, la terre végétale et les produits du feu volcanique, qu'il attribuait à des incendies souterrains de couches de combustibles charbonneux. Il explique

(1) Leibnitz avait déjà cherché à expliquer la mise à sec des continents par la retraite de l'eau dans les vastes cavités intérieures qu'il attribuait à d'anciennes boursouflures produites lors de la fusion primitive.

la liaison intime qui unit incontestablement les terrains primitifs aux terrains secondaires, aussi bien dans leur nature minéralogique que dans leur association, en supposant que la composition de l'Océan, et, par suite, la nature de ses dépôts ont varié depuis l'époque où le granite s'en précipitait, tantôt graduellement, tantôt d'une manière subite (1).

En résumé, dans le système de Werner tous les terrains ont été produits dès l'origine tels que nous les voyons aujourd'hui. L'activité interne du globe est complétement méconnue, aussi bien dans la formation des roches cristallines et des dépôts métallifères que comme cause des dislocations subies par les terrains stratifiés de tous les âges.

CHAPITRE II.

SYSTÈME DE HUTTON.

Hutton système ou écossaise.

Pendant que l'enseignement de Werner commençait à captiver l'attention générale et à exciter l'enthousiasme de ses élèves, grâce aux charmes de la parole du maître et à la puissance de méthode avec laquelle les faits alors connus s'y trouvaient coordonnés, une autre doctrine bien différente prenait naissance en Écosse. Doué d'un génie d'observation non moins éminent que le professeur de Freyberg, James Hutton arrivait à des conclusions opposées sur certains phénomènes fonda-

(1) Quand la dissolution recouvrait tout le globe et qu'elle avait une grande profondeur, elle était tranquille et pure. Aussi, les premières roches sont exclusivement cristallines. Plus tard, quand le niveau de la mer eut baissé et que la terre ferme eut apparu au-dessus de son niveau, les courants exercèrent une action plus forte et détruisirent une partie des masses préexistantes; d'autre part, les agents atmosphériques attaquèrent les roches émergées. C'est ainsi que des dépôts mécaniques se formèrent et devinrent même abondants.

mentaux, et ces deux écoles antagonistes s'établissaient simultanément.

Dès 1785, Hutton publiait son système de la *Théorie de la terre* (1). Dix années plus tard, après avoir fait en Écosse plusieurs voyages pour recueillir des observations nouvelles, il développa ses idées dans un ouvrage plus volumineux portant le même titre. Mais ce qui contribua surtout à faire connaître la doctrine de Hutton, ce fut l'ouvrage de John Playfair (2), son disciple et son ami, à la fois mathématicien, géologue et écrivain distingué. Son talent d'exposition et l'élégance de son style soutinrent vigoureusement les nouvelles idées, aussi bien contre les violentes attaques d'un petit nombre qui consentait à les prendre au sérieux que contre la dédaigneuse indifférence de la majorité qui les regardait comme non avenues.

L'importance des ouvrages de Hutton et de Playfair, dans lesquels se trouvent pour la première fois établis et développés certains fondements de la géologie mo- Ses conclusion

(1) *Theory of the earth or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution and restoration of land upon the globe*; by James Hutton, M. D et F. R. S. Ed. and member of the royal academy of agriculture of Paris; lu le 7 mars et le 4 avril 1785 à la société royale d'Edimbourg; 96 pages in-4. Un second mémoire sur le même sujet a paru en 1788.

La seconde édition de l'ouvrage est intitulée : *Theory of the earth with proofs and illustrations in four parts*. Edinburgh, 2 vol. in-8. 1795.

D'un autre côté, Werner publie son *Traité des caractères des minéraux* en 1774, à l'âge de vingt-quatre ans. Bientôt après, vers 1780, il commença à développer dans ses leçons les principes de la *géognosie*. Sa *Classification et description des terrains* date de 1787, et sa *Nouvelle théorie de la formation des filons* de 1791.

(2) Playfair. *Illustrations of the Huttonian theory of the earth*. Edinburg, 1802. Traduit en français par Basset. Paris, 1815.

derne, et en particulier du métamorphisme, oblige à en résumer ici, comme je l'ai fait pour Werner, les principales propositions. C'est d'ailleurs le seul moyen de bien faire la part de l'auteur de ces découvertes fondamentales et celle de ses continuateurs. Nous suivrons l'ordre même adopté par Hutton et par son commentateur.

Certains ...ns qualifiés ... primitifs ... été formés ... manière ... terrains ...imentaires récents.

L'auteur remarque d'abord que certains terrains qualifiés de primitifs paraissent avoir été formés à la manière des terrains sédimentaires récents. C'est ainsi que des couches des Alpes considérées comme primitives ne peuvent être antérieures à l'existence des végétaux, puisqu'elles en renferment de nombreux débris sous forme de combustible minéral. Ailleurs, d'autres terrains cristallins renferment des couches consistant en sable et galets : elles ont donc été formées des débris de terrains préexistants; car si l'on voulait admettre avec Deluc que le sable quartzeux est un dépôt chimique, on ne comprendrait pas pourquoi il n'en existe pas au milieu des masses les plus cristallines, notamment dans le granite et les filons métallifères.

...nsolidation ...stallisation ...s roches ...ratifiées l'influence ...a chaleur.

La compacité actuelle de ces roches à la fois sédimentaires et de structure cristalline, ne peut résulter que de l'action de la chaleur et d'un ramollissement. D'après Hutton, si une substance étrangère avait pénétré à l'état de dissolution dans les pores de la roche, le liquide y aurait laissé nécessairement certains vides. Les masses de calcaire lamellaire, souvent subordonnées à cette espèce de roches cristallines, lui servent aussi d'argument. Car *il ne met pas en doute* que le calcaire, dans lequel Black venait de découvrir l'acide carbonique, ne puisse retenir son élément gazeux à une chaleur élevée, si cette roche est en même temps soumise à une forte pression. Il ajoute que, dans ces conditions, le carbonate de chaux peut même être fondu. On sait comment

cette prévision hardie fut confirmée plus tard par les expériences de son plus célèbre disciple (1).

Le gisement des diverses espèces de combustibles minéraux fournit encore des points d'appui à cette même idée théorique. Après avoir remarqué que dans l'île de Sky le lignite ordinaire se change, sous le basalte qui le traverse, en un combustible compacte, à cassure brillante, semblable à la houille, Hutton conclut que la houille a la même origine que le lignite, comme Buffon l'avait déjà supposé; que les couches de houille et les dépôts de bitume résultent de la transformation de matières végétales et animales par la chaleur et sous l'influence de la pression. En généralisant cette idée, il vint à comprendre même le graphite dans cette série de produits dérivés de l'enfouissement et de la transformation des êtres organisés (2).

Transformat des combusti minéraux dans ces mê conditions

Ainsi, par une pensée toute nouvelle, l'illustre géologue écossais faisait coopérer successivement l'eau et la chaleur interne du globe à la formation des mêmes roches.

C'est le trait du génie de rapprocher dans une même origine des phénomènes très-dissemblables. La chaleur souterraine n'a pas seulement consolidé et minéralisé les couches au fond de la mer, Hutton reconnaît qu'elle a en outre soulevé et redressé des couches qui étaient primitivement horizontales. Saussure venait alors d'observer le redressement des célèbres poudingues de Valorsine, mais sans se prononcer sur la cause du phénomène (3).

3° La chale interne a en c opéré le redressem des couch

(1) Sir James Hall, dont les conclusions sur l'action simultanée de la chaleur et de la pression seront signalées plus loin.

(2) N° 121, page 206 de la traduction française.

(3) Les observations de Stenon sur le même sujet que M. Élie de Beaumont a remises en lumière (*Annales des sciences naturelles*, t. XXV, p. 337 à 183) paraissaient alors tout à fait tombées dans l'oubli.

Origine éruptive du granite et des roches. Une autre découverte due à Hutton a eu aussi une influence capitale sur la géologie; je veux parler de l'origine éruptive du granite. En étudiant cette roche dans les montagnes de son pays, notamment à Portsoy et dans le Glen-Tilt, il reconnut qu'elle forme dans les masses encaissantes des veines qui témoignent de son injection à l'état fluide; que sa nature minéralogique annonce, d'ailleurs, l'action de la chaleur. Il est toutefois juste d'ajouter qu'un compatriote de Hutton, Strange, venait d'arriver à la même conclusion (1).

Les roches connues en anglais sous le nom de *trapp*, *toadstone* ou de *whinstone*, ont aussi été injectées dans des régions où il n'y a pas d'indices de volcans (2) : Hutton le démontre par de nombreux exemples qu'il avait observés en Écosse, contrée éminemment favorable à ce genre d'études. Il recherche en outre la cause de la différence que présentent ces *laves souterraines* comparées à celles que rejettent les volcans, où l'on ne trouve ni zéolithe, ni spath calcaire. C'est encore la chaleur sous pression qui lui paraît expliquer cette différence (3).

Filons métallifères remplis par en haut. Pour l'auteur de ces déductions fondamentales, les filons métallifères ne peuvent être que des injections de

---

(1) *Transactions*, t. LXV, p. 5. 1775.

(2) Il faut toutefois se rappeler que Desmarets avait déjà démontré depuis longtemps l'origine ignée des basaltes de l'Auvergne, de l'Italie et de la côte septentrionale de l'Irlande (1768-1771).

(3) A propos de l'erreur, d'ailleurs très-concevable que commettait alors Hutton sur l'origine de ces amandes calcaires, je ne puis m'empêcher de remarquer avec quelle pénétration un autre grand observateur de la nature, Spallanzani, reconnaissait, dès cette même époque, l'origine mixte des roches amygdaloïdes des Collines Euganéennes. La disposition de leurs boursouflures lui apprenait que la roche avait coulé, en même temps que la présence du carbonate de chaux dans leur sein lui paraissait résulter d'infiltrations.

masses fondues, comme Descartes l'avait pressenti.

En résumé, Hutton explique l'histoire du globe avec autant de simplicité que de grandeur. L'atmosphère est la région où les roches se décomposent; puis leurs débris vont s'accumuler dans le fond de la mer. C'est dans ce grand laboratoire que les matières meubles sont ensuite minéralisées et transformées, sous la double action de la pression de l'Océan et de la chaleur, en roches cristallines ayant l'aspect des roches anciennes, lesquelles seront soulevées plus tard par l'action de cette même chaleur interne, et démolies à leur tour. La dégradation d'une partie du globe sert donc constamment à la reconstruction d'autres parties, et l'absorption continue des dépôts inférieurs produit sans cesse de nouvelles roches fondues qui peuvent être injectées à travers les sédiments. C'est un système de destruction et de renouvellement dont on ne peut pressentir ni le commencement ni la fin. Comme dans les mouvements planétaires où les perturbations se corrigent elles-mêmes, on voit des changements continuels, mais renfermés dans certaines limites, de telle sorte que le globe ne porte aucun caractère d'enfance ni de vieillesse. Résumé du système de Hutton.

En considérant cette action comme un phénomène *continu*, Hutton a obscurci sa belle conception; mais il a rendu un immense service en montrant que les agents naturels qui fonctionnent sous nos yeux doivent servir à expliquer l'histoire du globe, et qu'il ne faut pas recourir à d'autres moyens d'action que ceux que nous montre aujourd'hui la nature, tandis que tous les autres systèmes, au contraire, supposaient des événements sans aucune analogie avec ce qui se passe maintenant.

Ainsi Hutton est bien le fondateur du principe fé-

cond de la transformation des roches sédimentaires sous l'action de la chaleur.

Toutefois nous reconnaîtrons plus loin qu'il y a beaucoup de réserves à faire sur des conclusions aussi absolues (1). Comme la plupart des hommes de génie qui ont ouvert de nouvelles voies, Hutton a, en effet, exagéré la portée des idées qu'il avait conçues. On ne peut toutefois songer sans admiration avec quelle profonde pénétration et quelle rigueur d'induction cet homme si clairvoyant, à une époque où les observations précises étaient encore bien peu nombreuses, admettant le premier le concours simultané de l'eau et de la chaleur (2) dans la formation des terrains, imaginait un système qui embrasse toute l'histoire physique du globe. Il a posé des principes qui sont aujourd'hui universellement admis, au moins dans ce qu'ils ont de fondamental (3).

---

(1) La pyrite de fer, si abondamment disséminée dans les terrains stratifiés, lui paraissait, ainsi que tous les minéraux des filons, produits par voie sèche, et lui servait de témoin de l'action de la chaleur que les terrains ont subie. Il étendait cette observation aux silex de la craie dont la solidité contraste avec l'état physique de la silice connue dans les laboratoires.

(2) Dans les cosmologies de Leibnitz et de Buffon, le feu central n'est supposé avoir agi que dans l'origine du globe, avant la formation des terrains. D'ailleurs, combattant certaines idées qui avaient cours alors, Hutton montre bien que la chaleur interne du globe peut exister, sans qu'il y ait inflammation ou combustion intérieure.

(3) Hutton, né en 1726, a fait des observations dans les sites les plus sauvages de l'Écosse et médité pendant plus de quarante ans avant de publier sa première esquisse. La vue des filons de granite de la vallée de Glen-Tilt le pénétra comme d'un rayon de lumière. Il a reconnu lui-même un grand nombre des faits sur lesquels il s'appuie.

CHAPITRE III.

SUCCESSEURS DE HUTTON.

Idées de Arduin sur les dolomie du Vicentin 177

Avant même l'apparition de la doctrine de Hutton, un observateur italien faisait connaître un fait d'où il déduisait que les actions ignées récentes peuvent transformer les roches sédimentaires, même les plus modernes.

Dès 1779, Arduino (1) exprima en effet de la manière la plus claire l'idée que les dolomies de Lavina dans le Vicentin ont été formées aux dépens du calcaire secondaire. La nature bréchiforme de la roche lui faisait penser que le calcaire avait été brisé et que l'agent modificateur et igné était ensuite arrivé de la profondeur à travers les fissures.

D'un autre côté, vingt années plus tard, un géologue

---

(1) *Osservazioni chimiche sopra alcuni fossili.* Venezia, 1779.

Après avoir été attaché à la mine de Montieri, dans la Maremme de Sienne, Arduino s'était domicilié à Vicence où il était arpenteur (Lettres de Fortis sur le Vicentin). M. Pasini a signalé son travail dans le *Bulletin de la Société géologique de France*, t. IV, p. 112.

« Je me figure, dit Arduino, que la magnésie n'est que de la chaux douée de propriétés particulières par suite d'une action ignée souterraine.... Je ne l'ai trouvée que dans de grandes déchirures des couches calcaires de nos montagnes. »

Il est extrêmement remarquable que cette assertion neuve et hardie prit naissance l'année même où la magnésie était reconnue comme une terre distincte de la chaux par les expériences de Retzius et de Bergmann. Ce n'est que onze ans plus tard, en 1791, que Dolomieu fixa l'attention sur une espèce particulière de calcaire magnésien qu'il avait remarquée dans le Tyrol méridional. Sur un genre de pierres très-peu effervescentes avec les acides, etc., *Journal de physique*, t. XXXIX, p. 3. L'année suivante, Théodore de Saussure publia l'analyse de cette roche et lui donna le nom de *dolomie* qu'elle a conservé depuis lors (*Journal de physique*, t. XL, p. 161).

servations
Thomson
les calcaires
la Somma,
1798.

anglais, le docteur G. Thomson (1), après avoir examiné les blocs de calcaire cristallin de la Somma, si riches en minéraux variés, était amené à les considérer comme du calcaire de l'Apennin qui aurait été modifié par la chaleur, et se demandait si le marbre de Carrare n'avait pas la même origine.

:périences
r James Hall
sur
istallisation
calcaire
l'influence
ombinée
la chaleur
la pression,
1805.

Mais ce qui contribua alors le plus puissamment à appuyer le principe nouvellement établi de la transformation des roches, ce fut la série d'expériences de Sir James Hall (2). Elles lui furent suggérées, comme il le déclare, dès 1790, par Hutton. C'est, à proprement parler, la première fois que l'on a cherché sérieusement à établir la synthèse expérimentale dans l'étude des phénomènes géologiques en y introduisant autre chose que l'observation des faits, tels que la nature nous les présente, et l'analyse chimique. Hall était encouragé dans sa recherche par la présence fréquente dans les trapps de nodules de calcaire cristallin. Il constata que sous une certaine pression le carbonate de chaux peut, à une forte chaleur, retenir son acide carbonique, et que l'effet combiné de la chaleur et de la pression est d'agglutiner cette substance en une masse solide, quelquefois cristalline. Il reconnut aussi que le bois soumis aux mêmes conditions se change en une sorte de lignite. Quoiqu'il ne s'agît que de la démonstration d'un fait en apparence bien simple, Hall ne consacra pas moins de trois ans à ses expériences, qui

(1) *Sur la nature des marbres vomis par le Vésuve et sur l'étendue possible des influences volcaniques.* Bibliothèque britannique, t. VII, p. 40, 1798.

Breislack adopta et défendit cette opinion.

(2) *Account of a series of experiments shewing the effects of compression in modifying the action of heat.* — Lu le 3 juin 1805. Édim., *Phil. Trans.*, t. VI, 1812.

furent au nombre de plus de 150 ; cela donne une idée des difficultés en présence desquelles on se trouve dès qu'on opère à chaud avec de fortes tensions (1).

Nulle contrée ne présente peut-être de plus beaux et de plus nombreux exemples de l'intercalation de roches éruptives que certaines régions de l'Écosse. C'est naturellement sur un sol accidenté de cette manière que devaient germer les premières notions précises relatives à ce genre de phénomène. Aussi les importants mémoires que publia Macculoch (2) sur cette contrée, devenue désormais classique, fournirent de nouveaux arguments à l'appui de la théorie que le même pays avait inspirée à Hutton. Travaux de Macculoc

On peut être surpris que des idées profondément justes pour la plupart, et déjà appuyées sur beaucoup d'observations précises, soient restées longtemps pour ainsi dire inaperçues sur le continent. A Édimbourg même un disciple ardent de Werner, Jameson, venait combattre les doctrines que l'on peut appeler écossaises, avec des arguments qu'il rapportait en ligne droite de l'école de Freyberg. En France, Dolomieu, Giraud-Soulavie, Faujas-Saint-Fond, qui depuis la fin du siècle dernier battaient en brèche l'hypothèse de Werner sur l'origine aqueuse des basaltes, et d'Aubuisson, que l'étude de l'Auvergne obligea, un peu plus tard, à adopter l'opinion opposée à celle de son maître, n'accordèrent que peu d'attention à des idées vers lesquelles ils au- Long espac de temps pend lequel les id de Hutton restent à pe près inaperç

(1) Bucholz a annoncé que l'on peut obtenir du carbonate de chaux cristallin, même par une calcination sous la pression ordinaire.

(2) *Description of the Western Islands of Scotland*, 1819. 3 volumes.

D'après Macculoch, les schistes amphiboliques paraissent résulter de la transformation d'argiles.

raient dû, il semble, se sentir vivement attirés. Cuvier, dans le rapport sur le progrès des sciences naturelles depuis 1789, qu'il publia en 1808, ne cite Hutton que pour signaler avec beaucoup de doute l'opinion de ce savant sur l'intervention de la chaleur dans l'origine du basalte (1). Comment, ajoute plus loin Cuvier, résoudre les problèmes de l'histoire du globe avec les forces que nous connaissons maintenant à la nature (2)?

propagation commence ère qu'au blissement paix en 1815.

Ce n'est réellement qu'à partir de 1815, après que les relations de la Grande-Bretagne furent renouées avec le continent, que les travaux de Hutton et de ses disciples commencèrent à être connus dans le reste de l'Europe : alors seulement parut la traduction française (3) de l'ouvrage de Playfair, qui avait été publié treize ans auparavant à Edimbourg.

aduction rançaise ayfair, 1815.

L. Boué M. Necker ir servent iterprètes, 18 à 1822.

Peu d'années après, le docteur Boué (4), qui avait étudié la géologie dans cette capitale et exploré l'É-

(1) Édition in-8, p. 171-172.

(2) Rapport précité, p. 180. Cette dernière phrase fait la critique de cet autre principe que Hutton avait cherché à établir, que les phénomènes anciens paraissent dus à l'action suffisamment prolongée des causes actuelles.

« Cette progression est trop lente pour être aperçue immédiatement par l'homme; sa partie la plus éloignée que l'expérience puisse fournir doit être considérée comme l'*incrément* momentané d'une immense progression qui n'a d'autres limites que la durée du monde. Le temps se charge de la fonction d'intégrer les parties dont se compose cette progression. » Playfair, ouvrage cité.

Dolomieu était tout à fait opposé à cette manière de voir.

« Ce n'est pas le temps que j'invoquerai, c'est la force; la nature demande au temps les moyens de réparer les désordres, mais elle reçoit du mouvement la puissance de bouleverser. » *Journal de physique*, t. II, 1792.

(3) *Explication de Playfair sur la théorie de la terre*, par Hutton, traduit par Basset. Paris, 1815.

(4) Tableau de l'Allemagne, *Journal de physique*, 1822. — Mémoire géologique sur le sud-ouest de la France, *Annales des*

cosse, contribua aussi à propager les mêmes idées. En outre, se fondant sur les modifications observées au voisinage de roches plutoniques dans l'île de Sky, à Monzoni et ailleurs, il émit l'idée que le gneiss et les autres roches cristallines qui avoisinent le granite ne sont que des terrains sédimentaires transformés par d'anciennes éruptions de cette roche. C'était sans doute exagérer beaucoup l'étendue et la puissance d'action du phénomène; cependant certains géologues ont conservé cette manière de voir jusque dans ces derniers temps (1). Après avoir visité l'Écosse, M. Necker servit également d'interprète aux principales vues de Hutton (2).

Sir Lyell contribue à propager les idées de Hutton

De son côté, sir Charles Lyell fit connaître de toutes parts la doctrine écossaise par des ouvrages élégamment écrits. Dès 1825, il résuma par le nom de *métamorphisme* les changements qu'ont éprouvés, selon la théorie de Hutton, les terrains d'origine sédimentaire sous l'action de chaleur centrale : c'est cette dénomination qui a été depuis lors adoptée (3).

Hypothèse de Léopold de B sur l'origin des dolomi du Tyrol, 18

Mais ce qui excita au plus haut degré l'attention à

---

sciences naturelles, t. II, p. 387, 1824. M. Boué chercha à montrer l'origine éruptive du granite, du porphyre et du grunstein dans diverses régions de l'Allemagne. Il appuya surtout sa conclusion principale sur les excellentes observations de Palassou dans les Pyrénées. Les gîtes de fer des environs de Vicdessos lui parurent être des produits de sublimation.

(1) Ainsi, d'après Léopold de Buch, tout le gneiss de la Finlande ne serait que le résultat de la transformation de schistes argileux, sous l'action de substances qui se seraient dégagées lors du soulèvement du granite; c'est, ajoute-t-il, l'idée adoptée par tous les géologues. *Ueber granite und gneiss. Abhandlungen der Academie der Wissenschaften zu Berlin*, p. 63, 1842.

(2) *Voyage en Écosse et aux îles Hébrides*, 1821.

(3) Les roches métamorphiques forment une partie de ses roches hypogènes.

cette époque, ce fut le travail que Léopold de Buch publia en 1822 sur la géologie du Tyrol méridional (1). Déjà dans le siècle dernier, comme nous l'avons dit précédemment, Arduino avait attribué l'origine de la dolomie du Vicentin à une transformation du calcaire. Vingt-sept années plus tard, Heim, géologue allemand, dont les ouvrages renferment une foule de faits alors neufs et judicieusement observés, fit en Thuringe des observations qui l'amenèrent aux mêmes conclusions (2).

Léopold de Buch présenta de nouveau cette hypothèse d'une manière saisissante en lui donnant une plus grande portée. Pour lui, les masses colossales et déchirées de dolomie de la vallée de Fassa ne sont autres que des calcaires dans les innombrables fissures desquels les éruptions de mélaphyre qui les ont soulevés et brisés ont introduit la magnésie à l'état de vapeur. Il amenait ainsi à cette conclusion que ce n'est pas la chaleur seule, mais aussi des émanations chimiques qui peuvent avoir transformé les roches (3). C'était en outre

(1) Lettres sur la géologie du Tyrol méridional. *Annales de chim. et de phys.*, t. XIII, 1822 *Taschenbuch*, t. XIX et XX, 1824.

(2) En parlant des dolomies caverneuses du zechstein, il dit qu'on en trouve de semblables dans le terrain du muschelkalk; que ce n'est qu'une manière d'être du calcaire. On ignorait encore, à cette époque, que cette roche renferme de la magnésie. Cette modification du calcaire, ajoute-t-il, est en relation avec des dérangements (Stœrungen) qui ont été produits de bas en haut, et parmi les forces naturelles, il n'y a que les vapeurs qui puissent avoir produit une telle action; elles ont en même temps formé le gypse qui est toujours associé à la dolomie.

Heim. *Geologische Beschreibung des Thuringerwaldgebirgs*, 1806. Theil. II. Abth. 5, p. 99 à 121.

(3) Toutefois, antérieurement, Breislack avait déjà reconnu dans son excellente description de la Solfatare de Pouzzoles que les vapeurs transforment les roches. M. Cordier avait aussi montré dès 1820. que l'alunite résulte en général de l'attaque des roches feldspathiques par des vapeurs sulfureuses. (*Annales des mines*, 1re série, t. V, p. 303.)

agrandir l'importance des dislocations mécaniques en montrant comment elles peuvent ouvrir des sources de sublimations ou de vapeurs qui réagissent ultérieurement sur les roches. C'était, en un mot, un nouveau point de vue introduit dans la science par celui qui déjà alors était à la tête des géologues.

Discussions profitables pour la science, qui sont résultées

Des travaux ultérieurs ont montré qu'il faut apporter certaines modifications à cette conclusion ; mais les discussions qu'a soulevées l'hypothèse hardie du métamorphisme des dolomies, ont provoqué des recherches qui ont enrichi la science. Une idée qui conduit à des découvertes repose, en général, sur quelque rapport profond et dénote un esprit inventeur.

Les Alpes, qui seront à jamais une région classique pour la géologie, tant à cause des actions qui ont donné naissance à cette chaîne que par les profondes et imposantes déchirures dans lesquelles elle expose sa constitution interne, ont fourni, avec l'Écosse, les observations fondamentales pour la théorie du métamorphisme.

Observations de Brochant sur les Alpes de la Tarentaise 1808-1819.

Déjà dans un mémoire qui fait époque dans la science et qui parut au même moment que Cuvier et Brongniart publiaient l'Essai de la géographie minéralogique des environs de Paris, Brochant (1) avait signalé de la manière la plus précise, dans les Alpes de la Tarentaise, des passages des roches sédimentaires à des roches cristallines alors réputées primitives. Il avait même eu plus

(1) Observations géologiques sur les terrains de transition qui se rencontrent dans la Tarentaise et autres parties de la chaîne des Alpes. *Annales des mines*, t. XXIII, p. 321 à 383, 1808.

Considérations sur la place que doivent occuper les roches granitoïdes du Mont-Blanc dans l'ordre d'antériorité des roches primitives. *Annales des mines*, 1re série, t. IV, 1816.

Découverte de fossiles organiques dans les roches cristallines. *Annales des mines*, 1re série, t. IV, 1819.

tard le bonheur de découvrir des fossiles dans ces dernières. Appliquant à ces roches cristallines à peu près les mêmes arguments dont s'était servi Hutton, il concluait que les calcaires grenus, micacés, talqueux, les schistes micacés talqueux et amphiboliques de cette région des Alpes sont d'origine sédimentaire, et il les rapportait aux terrains de transition, à cause de leur analogie avec ceux de l'Allemagne. Il allait jusqu'à rapprocher dans un même groupe les roches granitoïdes du Mont-Blanc et les roches talqueuses et feldspathiques auxquelles elles sont associées, et croyait pouvoir établir l'âge relativement récent de ces prétendus granites alpins. Sans adopter le principe de la transformation des roches, il contribuait cependant, peut-être à son insu, et avec une clarté et une rigueur de déduction remarquables, au développement de ces idées nouvelles (1).

Studer ...couvre ... terrains ...ondaires ...sociés ... roches ...lines, 1827.

Une excursion dans les Alpes de Glaris que M. Studer fit en 1826 avec M. Mérian révéla pour la première fois un passage des terrains secondaires (flysch) à des roches aussi cristallines que le micaschiste et le gneiss du Saint-Gothard et de Chamouny (2). Comme le disait M. Élie de Beaumont (3) dans une lettre qu'il écrivait douze ans plus tard, après avoir visité les mêmes localités, on avait sous les yeux l'un des faits de métamorphisme les plus évidents des Alpes, et en même temps l'un de ceux qui prouvent le mieux que ces phénomènes ne sont pas exclusivement restreints aux terrains les plus anciens.

(1) L'attention fut de nouveau portée sur les terrains qui composent la chaîne des Alpes par un ouvrage de Backewell. *Travels in the Alpine parts of Switzerland and Savoy*, 1822.

(2) Zeitschrift von Leonhard, t. XXV, p. 1, 1827.

(3) Lettre de M. Élie de Beaumont à M. Studer citée dans le *Leonhards Jahrbuch*, p. 352, 1840.

M. Élie de Beaumo[nt] rapporte tou[t] groupe de ro[ches] cristalline[s] des Alpes au terrain jurassique 1828.

Telle est, d'ailleurs, la conclusion importante à laquelle arrivait, de son côté, M. Élie de Beaumont lui-même à peu près en même temps que M. Studer, dans une exploration approfondie des Alpes du Dauphiné et de la Savoie qui a été d'une fécondité inappréciable pour la géologie. Il avait reconnu dans le graphite du Col du Chardonnet, qui est associé à des roches feldspathiques, un résultat de la transformation de l'anthracite (1), et, à la suite d'un examen attentif, il proposait de faire remonter l'âge d'une partie de ces roches cristallines jusque dans le terrain jurassique.

Ainsi ce prestige d'antiquité des terrains des Alpes, ébranlé déjà par Brochant et par Léopold de Buch, se trouvait à jamais rompu; et en même temps M. Élie de Beaumont faisait connaître combien est récent le relief de la plus grande chaîne de montagnes de l'Europe. Des résultats à la fois si nouveaux et si grandioses frappèrent vivement tous les esprits et donnèrent une impulsion extraordinaire aux études géologiques.

Chargé à cette même époque (1829) du cours de géologie de l'École des mines, M. Élie de Beaumont contribua dès lors puissamment à propager les doctrines géologiques auxquelles il avait apporté un si large tribut, surtout à l'aide de faits observés par lui-même dans les Alpes ou empruntés aux mémoires de Macculoch sur l'Écosse. La comparaison par laquelle il résumait les passages graduels des roches sédimentaires aux roches cristallines, en l'assimilant à « la structure physique d'un tison à moitié charbonné, dans lequel on peut suivre les traces des fibres ligneuses, bien au delà des points qui présentent encore les caractères

(1) Sur un gisement de végétaux fossiles et de graphite situé au col du Chardonnet (département des Hautes-Alpes). *Annales des sciences naturelles*, t. XV, 1828.

naturels du bois », est aussi claire que profonde (1). Il montrait d'ailleurs que des calcaires et d'autres roches peuvent avoir cristallisé sans qu'il y ait eu fusion, de même qu'il arrive à une barre de fer longtemps chauffée au-dessous de son point de ramollissement (2).

Quand peu d'années plus tard M. Élie de Beaumont découvrait dans le massif de l'Oisans (3) des roches granitiques débordant au-dessus de calcaire jurassique, qui est devenu saccaroïde et au contact duquel elles ont produit de petits filons de minéraux métalliques, tout en se modelant exactement sur les contours ondulés de leur surface, il agrandissait encore le champ des phénomènes métamorphiques.

rvations ilogues es dans ontagnes Carrare.

Des faits complétement semblables à ceux qui venaient d'être découverts dans les Alpes furent constatés dans la région des Apennins. Le marbre de Carrare et le massif de schistes talqueux et micacés qui l'accompagnent furent classés dans les terrains secondaires, jurassique ou crétacé, par les observations de MM. Pasini, Pareto, Guidoni, Paul Savi (4), qui furent confirmées par Hoffmann (5) et Pilla. La Toscane fournit

(1) *Annales des sciences naturelles*, t. XV, p. 362-372.

(2) *Annales des mines*, 3e série, t. V, p. 61.

(3) Faits pour servir à l'histoire des montagnes de l'Oisans. *Annales des mines*, 3e série, t. V, p. 1.

(4) Les travaux de ces géologues ont été résumés par M. Boué dans le *Bulletin de la Société géologique*, t. III, p. 42, 1832. Ils sont de 1829 à 1831.

(5) Entdeckungen über den Marmor von Carrara. *Jahrbuch*, p. 102, 1833. — Gebirgs Verhältnisse der Grafschaft Carrara. Même recueil, p. 563, 1834.— *Karsten's Archiv.*, t. VI, p. 229.

Nous croyons à cette occasion devoir rappeler que M. de Blainville avait déjà distingué alors dans des échantillons polis de cette dernière roche des vestiges non équivoques de polypiers.

d'ailleurs dès 1829, à M. Savi, beaucoup d'exemples très-remarquables d'altérations variées dans le voisinage des serpentines.

Roches cristallines développées près des masses granitiques des Pyrénées. Observations de Palassou dès 1819, et de M. Dufrénoy en 1830.

Les Pyrénées révélèrent aussi à la même époque des faits qui confirmèrent et étendirent les nouvelles idées.

Déjà en 1819, un observateur aussi judicieux que modeste, Palassou, après avoir exploré pendant quarante ans ces montagnes, avait annoncé avec certitude qu'il n'existe pas de calcaires primitifs dans cette chaîne, et que des calcaires aussi cristallins que le marbre de Paros alternent avec des couches à fossiles et en renferment quelquefois eux-mêmes (1).

M. Dufrénoy fit voir que ces transformations sont dues à l'intercalation de massifs granitiques, qu'elles ont eu lieu dans toute l'étendue de la chaîne, et qu'elles ont affecté des terrains d'âge varié, jusques et y compris la craie (2). Il montra plus tard que des amas de minerai de fer ont aussi été produits postérieurement au terrain de craie, dans le voisinage du granite et comme par une conséquence du soulèvement de cette chaîne (3). Ainsi la formation de roches métamorphiques et de gîtes métallifères attestaient la puissance d'action du granite. En outre, M. Dufrénoy trouva aussi dans le terrain cré-

(1) Mémoire sur les pierres calcaires des Pyrénées. Dans la *suite de mémoires* de Palassou. Pau, 1819.

De Charpentier avait aussi montré de semblables altérations dans son important ouvrage sur les Pyrénées, 1823.

(2) Notamment aux environs de Saint-Martin de Fenouillet. Caractères de la craie dans le sud de la France. *Annales des mines*, 2e série, t. VIII, p. 311, 1830.

(3) Mémoire sur la position géologique des principales mines de fer de la partie orientale des Pyrénées, accompagné de considérations sur l'époque du soulèvement du Canigou et sur la nature du calcaire de Rancié. *Annales des mines*, 3e série, t. V. p. 307, 1834.

tacé des effets d'altération particuliers dus au voisinage des ophites (1).

…servations M. Keilhau, en 1826, M. le docteur …son, en 1827.

Parmi les premiers observateurs de phénomènes métamorphiques, il convient encore de mentionner M. Keilhau, qui en 1826 reconnaissait aux environs de Christiania que le terrain de transition est généralement modifié autour du granite (2), et M. le docteur Ch. Jackson, qui annonçait en 1827 que des roches amygdaloïdes ont été produites par l'action des roches trappéennes sur les grès dans la Nouvelle-Écosse.

CHAPITRE IV.

TRAVAUX RELATIFS AUX AUTRES ACTIONS QUE L'INTÉRIEUR DU GLOBE FAIT SUBIR A SON REVÊTEMENT EXTERNE ET QUI SE RATTACHENT AU MÉTAMORPHISME.

…vers effets l'activité …ne du globe ont éclairé les effets du …morphisme.

Outre les effets de transformation dont nous venons de parler, il est d'autres phénomènes de nature variée qui paraissent aussi résulter des actions que l'intérieur de notre planète a exercées dans les anciennes époques ou exerce encore aujourd'hui sur son revêtement externe; tels sont les volcans, les éruptions de roches anciennes, les dépôts métallifères et les dislocations mécaniques auxquelles les chaînes de montagne doivent

---

(1) Mémoire sur la relation des ophites, des gypses et des sources salées des Pyrénées. *Annales des mines*, 3ᵉ série, t. II, p. 21, 1832.

Palassou avait également reconnu aussi une partie de ces modifications. Mémoire sur l'ophite des Pyrénées, ouvrage précité, p. 100.

(2) M. Keilhau admettait, pour cause de ces changements qui se sont parfois étendus jusqu'à 1.200 mètres, de simples actions moléculaires sans intervention de la chaleur, ni d'émanations profondes. Il pense que les roches éruptives ne sont autres que des roches sédimentaires situées à une plus grande profondeur et devenues liquides. *Darstellung der Uebergangsformation in Norwegen*, 1826; *Ueber die Bildung des Granits*. Karstens Archiv., t. X, 1837; Gæa Norvegica, I, 1838.

naissance. Ces divers effets chimiques, physiques ou mécaniques de l'activité interne du globe sont très-probablement solidaires, et ce serait laisser subsister une lacune que de ne pas rappeler brièvement dans cet historique les travaux qui ont indirectement contribué à éclairer les effets du métamorphisme.

§ 1er. *Éruptions des volcans.*

Éruptions volcaniques : Dolomieu mont que leur siége est au-dessous du granite 1798

Les volcans éteints de la France centrale, dont Guettard avait reconnu dès 1751 l'identité avec les volcans actifs (1), révélaient plus tard à Dolomieu un fait capital : c'est que les phénomènes volcaniques ont leur siége sous le granite, et les autres terrains primordiaux, c'est-à-dire au-dessous de l'*écorce consolidée* du globe (2). Cette idée, avec laquelle nous sommes aujourd'hui si familiarisés, paraissait neuve à une époque à laquelle les éruptions des volcans étaient généralement considérées comme des accidents isolés, superficiels et insignifiants. En effet, l'expérience de Lémery sur la combustion

(1) Mémoire sur quelques montagnes de la France qui ont été des volcans. Mémoire de l'Académie, 1752.

(2) « 1° Les produits volcaniques appartiennent *ici* (en Auvergne) à un amas de matières qui diffèrent des granites et qui reposent au-dessous d'eux ; 2° les agents volcaniques ont résidé ici sous le granite et travaillé dans des profondeurs très-inférieures à lui....; 3° le granite n'est pas la roche primordiale, puisqu'il est nécessairement postérieur aux matières qui supportent les masses. Rapport à l'Institut national sur les voyages de l'an V et de l'an VI. *Journal des mines*, t. VII, p. 397, 1798.

Quelques lignes plus loin (page 398), Dolomieu ajoute d'ailleurs « qu'il a des raisons d'étendre ses conclusions à tous les autres volcans, quelle que soit d'ailleurs la nature du sol qui les environne ; c'est partout à de grandes profondeurs ou au-dessous de l'*écorce consolidée* du globe que résident les agents volcaniques. »

spontanée d'un mélange chauffé de soufre et de fer (1), ou la supposition, sanctionnée par l'autorité à peu près souveraine de Werner, d'incendies souterrains de combustibles charbonneux, portaient alors à tout expliquer par l'action de foyers locaux. Buffon lui-même, le plus ardent promoteur de la chaleur primitive du globe, ne considérait pas autrement les volcans. Ainsi la grande idée de Descartes qui liait déjà ces phénomènes à la formation des sources thermales et des filons métallifères, et même aux anciens brisements de l'écorce terrestre, était tombée dans un oubli que l'on concevra difficilement. Et c'est en revenant à cette idée par la force des faits, plus encore que par ses observations précises sur la composition des roches, que Dolomieu contribua pour beaucoup à l'essor que la géologie prit alors en France.

xpériences ipallanzani ounent que ive apporte ne haute npérature rofondeurs.

Mais l'esprit humain ne s'affranchit, en général, d'idées erronées, que par des efforts longs et successifs. On croyait alors, et Dolomieu cherchait à l'expliquer par des hypothèses mal fondées, que les laves, au lieu d'apporter leur chaleur des foyers souterrains, l'acquièrent par une sorte de combustion intérieure qu'elles subissent en arrivant dans l'atmosphère; que d'ailleurs elles sont entretenues liquides au moyen d'une sorte de fondant tel que le soufre. Il fallut que Spallanzani exécutât une longue série d'expériences sur la fusion des laves, soit dans des creusets, soit dans des fours de verrerie, pour détruire ces préjugés (2).

---

(1) Mémoires de l'Académie des sciences, 1700.

Plus tard, Pallas était arrivé à faire descendre la cause des volcans jusque dans les schistes cristallins avec pyrite, semblables à ceux qu'il avait eu occasion d'observer dans l'Oural.

(2) *Voyage dans les Deux-Siciles.* L'original est de 1792 et la traduction de 1795; voir notamment l'introduction de l'ouvrage et le tome IV.

L'exactitude et le génie d'observation de l'illustre professeur de Pavie se manifestent dans ses études sur la nature et l'origine des roches volcaniques aussi bien que dans ses brillantes découvertes sur l'économie animale, et il est l'un de ceux qui ont eu le mérite d'introduire dans la géologie la méthode expérimentale (1).

Au commencem de ce siècl de Humbold et de Buch font ressort la grandeu et l'universal de l'actio volcaniqu

Plus tard, Alexandre de Humboldt après avoir exploré les volcans gigantesques des deux Amériques, et Léopold de Buch qui avait si profondément étudié la structure des îles Canaries, faisaient ressortir, par d'autres considérations, la grandeur et l'universalité de l'action volcanique et les formes variées sous lesquelles elle se manifeste.

§ 2. *Roches éruptives.*

L'origine ign des basalte est signalé par Desmare longue discuss des neptunis et des plutonist

L'Auvergne, qui présente, comme l'Écosse, dans sa constitution géologique des faits qui commandent de prime-abord l'attention, a également fourni les premiers exemples bien constatés de roches qui ont une origine incontestablement éruptive, sans qu'elles soient sorties de volcans à cratère Desmarets reconnut le mode de formation ignée des basaltes, dans un voyage qu'il fit en cette contrée en 1763 et le fit connaître en 1768 (2), c'est-à-dire dix-sept ans avant la publication du premier mémoire de Hutton. C'est alors que prit naissance cette longue discussion, qui dégénéra parfois en une vive po-

(1) Spallanzani a, en outre, découvert l'*acide marin* (acide chlorhydrique) parmi les gaz qui boursouflent les laves et l hydrogène dans les feux naturels de Barigazzo.

En terminant ses observations relatives aux laves, Spallanzani reproduit cette opinion remarquable de Faujas-Saint-Fond : « Il n'est pas hors de possibilité que l'eau unie avec le feu fasse naître des combinaisons ignorées et impossibles à l'art. » T. IV, p. 75.

(2) Mémoires de l'Académie, 1768.

lémique, entre les neptuniens et les plutonistes, et qui, chose digne de remarque, se prolongea pendant plus d'un demi-siècle, après que l'origine éruptive des basaltes eût été signalée en Auvergne, en Italie par ce même Desmarest, et dans les îles Hébrides par Faujas-Saint-Fond son continuateur. On peut clairement voir par le rapport qu'en faisait Cuvier en 1808, combien à cette époque les arguments de l'école de Werner conservaient encore de prestige, même dans le pays où les faits plaident avec tant d'évidence la cause opposée (1), et quand de nouveaux exemples si remarquables d'intrusion de roches cristallines avaient été reconnus par Strange, Hutton, Haussmann et Léopold de Buch. Sans doute la question eût été plus rapidement tranchée si les communications et relations européennes eussent présenté à cette époque la même facilité que de nos jours.

§ 3. *Formation des gîtes métallifères.*

Depuis que l'on a reconnu que les filons métallifères

---

(1) « C'est d'après les observations de Desmarets que l'on a attribué longtemps à tous les basaltes, pierres assez semblables à certaines laves, une origine volcanique..... Il paraît cependant que les terrains qui ont de la ressemblance avec les laves n'ont pas tous la même origine. Telles sont les roches nommées *Wackes*; elles occupent de grandes étendues dans certaines contrées de l'Allemagne; elles y sont bien horizontales, n'y tiennent aucune élévation que l'on puisse regarder comme un cratère, reposent sur des houilles très-combustibles qu'elles n'ont pas altérées; elles ne sont donc pas volcaniques. Werner a bien démontré ces faits, et une multitude de terrains ont été dépouillés, par suite de ses observations, de l'origine qu'on leur attribuait. Tout au plus resterait-il l'opinion de Hutton et de M. James Hall qu'ils ont été fondus en place, lors d'un échauffement général et violent éprouvé par le globe. » Édition in-8, p 171 et 172.

Desmarets fut témoin de toute cette longue discussion et du rapport qui condamnait ainsi ses conclusions, car il mourut en 1815.

ont été remplis par des exhalaisons partant des régions profondes du globe, comme l'avait avancé Descartes, leur étude a contribué à porter la lumière dans le phénomène qui nous occupe : on en verra plus loin la preuve.

§ 4. *Dislocations mécaniques de l'écorce terrestre.*

La formation des chaînes de montagne ne présente pas dans son histoire des phases moins singulières que celle des roches éruptives.

Idée fondament déjà émis par Descart 1644.

Déjà Descartes avait donné une nouvelle preuve de son admirable pénétration d'esprit en rattachant les dislocations de la *voûte terrestre* au refroidissement et à la contraction de la masse interne (1).

Stenon s'appuyant sur des observations précises qu'il fit en Toscane crut pouvoir conclure, dès 1669, que les terrains stratifiés ont perdu leur horizontalité première, probablement sous l'influence des vapeurs souterraines (2). Il publia son travail après avoir passé deux

Stenon pro les dérangem subis pa les terrai stratifiés d'après les observat qu'il fai en Toscan 1669.

(1) « Les fentes s'augmentant, les parties externes n'ont pu se soutenir plus longtemps, et la voûte se crevant tout d'un coup l'a fait tomber en grandes pièces sur la superficie du corps *e;* mais pour que cette superficie, qui n'était pas assez large pour recevoir toutes les pièces de ce corps en la même situation qu'elles avaient auparavant, il a fallu que quelques-unes soient tombées de côté et se soient appuyées les unes contre les autres. » § 42, p. 322 de l'édition précitée des œuvres de Desmarets. La figure annexée représente bien clairement l'idée de Descartes.

(2) L'ouvrage publié par le savant danois, à la fois anatomiste et géologue, sous le titre de : *De solido intrà solidum naturaliter contento, dissertatio Prodromus*, dans une étendue de 76 pages seulement, constitue l'un des travaux géologiques les plus remarquables, par la justesse et l'importance des observations qui y sont consignées, par l'enchaînement et la rigueur des raisonnements, la précision du style et la forme en quelque sorte géométrique que lui a donnée son auteur, ainsi

années à Paris en relation avec Descartes (1), dont le système avait évidemment produit chez lui une profonde impression.

Cependant la belle conception du philosophe français sur l'origine des aspérités du globe, malgré l'appui que Sténon lui avait prêté, fut pendant longtemps méconnue, et céda la place à des hypothèses que l'on reconnaît aujourd'hui n'avoir aucun fondement. Leibnitz lui-même, bien que se fondant sur les idées et les observations de ces deux grands hommes, aima mieux attribuer la mise à sec des anciens fonds de mer à l'infiltration d'une partie de l'eau dans des abîmes qu'il supposait dus à d'anciennes boursouflures de la masse primitivement fondue.

Buffon, tout en faisant aussi une grande part à la chaleur primitive, ne fut pas plus heureux que Leibnitz dans les deux hypothèses opposées et contraires qu'il a successivement émises sur la formation des montagnes (2).

idée reste se méconnue pendant d'un siècle, jusqu'à le les travaux Hutton, de old de Buch de M. Élie Beaumont mettent de doute.

Ce n'est réellement qu'après plus d'un siècle que Hutton, James Hall et Saussure ramenèrent par de

---

que l'a très-bien remarqué M. le docteur Bertrand de Saint-Germain.

Déjà, depuis longtemps, M. Élie de Beaumont a signalé à l'attention les principales conclusions de Stenon dans les *Annales des sciences naturelles*, t. XXV, 1832.

Stenon distingue aussi les roches volcaniques et les roches stratifiées, et, parmi ces dernières, les couches anciennes des couches récentes.

(1) De 1664 à 1666.

(2) Soit dans la mer, par le mouvement et le sédiment des eaux (*Théorie de la terre*), soit par le feu, à l'époque où le globe était encore incandescent, et, par conséquent, bien avant qu'il y eût des mers et des êtres vivants (*Époques de la nature*, qui, on le sait, parurent environ trente ans après le premier ouvrage).

nouvelles voies à l'idée si féconde de Descartes (1). Cependant elle restait encore vague, indécise et comme voilée par l'école de Werner, lorsque Léopold de Buch et ensuite M. Élie de Beaumont lui donnèrent définitivement une importance fondamentale, en la précisant, l'appuyant et la développant par des observations nombreuses et exactes (2).

On reconnut en outre que la formation des sources thermales et gazeuses, ainsi que celle des gîtes métallifères, se rattachent à ces systèmes de cassures, même dans les régions qui ne sont pas traversées par des roches éruptives (3).

---

(1) Cependant on doit des observations fort justes à Robert Hooke, à propos des tremblements de terre, 1705; à Lazzaro-Moro, 1740; à Fichtel, *über die Karparthen*, 1791; Heim, *geologischen Beschreibung des Thuringerwalds*, 3e partie. Ce dernier observateur était déjà entré dans beaucoup de considérations ingénieuses sur la possibilité du soulèvement des chaînes de montagnes, au moyen des basaltes et des porphyres, sur les sublimations des minéraux et des métaux dans les roches, ainsi que sur les altérations produites dans diverses roches dans les éruptions ignées, comme nous l'avons dit plus haut, page 19.

(2) La superposition du granite et du porphyre aux terrains de transition des environs de Christania que Haussmann avait déjà observée en 1805, et le soulèvement lent et graduel du sol de la Suède furent les arguments irrésistibles de Léopold de Buch.

Parmi les plus anciennes observations de même nature, il faut encore citer celles du comte Marzari-Pencati qui avait accompagné Faujas-Saint-Fond en Italie, et qui déjà alors avait rendu attentif à la superposition de roches réputées primitives à des terrains stratifiés, particulièrement dans le Tyrol méridional (1819).

(3) Fr. Hoffmann, l'un des premiers, a très-bien fait ressortir cette sorte de relation pour les sources gazeuses du Nord de l'Allemagne. *Nordwestliches Deutschland*, 1830.

§ 5. *Chaleur interne du globe démontrée par des mesures directes.*

ur interne
globe
montrée
s mesures
irectes.

Quoique la chaleur interne du globe forme le fondement de tout le système de Hutton, ce n'est réellement que plus tard que ce fait capital a été constaté d'une manière positive, c'est-à-dire à l'aide de mesures suffisamment exactes et assez nombreuses pour établir le fait d'une manière incontestable. Par une exception qui est rare dans les sciences d'observation, les idées spéculatives avaient, dans ce cas particulier, devancé la découverte de la réalité. Avant le premier mémoire de Hutton, on ne possédait guère sur l'accroissement de température dans les lieux profonds que les observations citées par Kircher en 1644 (1), et celles que fit Gensanne en 1749 dans les mines de Giromagny. Les mesures prises en Saxe par Freiesleben et de Humboldt datent de 1791; elles sont donc antérieures seulement à la seconde édition de l'ouvrage du chef de l'école écossaise. A partir de cette époque, les observations sur ce sujet se succèdent en grand nombre jusqu'à nos jours; les principales sont dues à d'Aubuisson, de Trebra, Arago, Dulong, MM. R. Fox, Boussingault, Reich, Delarive, Ermann, Walferdin et divers autres. Il existait cependant encore des causes d'erreurs qui soulevaient des objections sur le fait principal, lorsque M. Cordier, dans son *Essai sur la température de la terre* (lu en 1825 à l'Académie des sciences et publié en 1827), leva les derniers doutes. Antérieurement à cette publication, ce savant, chez lequel la vue de Ténériffe avait depuis longtemps cor-

(1) L'année même où Descartes publiait de son côté ses idées sur la chaleur interne.

Ces premières expériences sont dues à Schapelmann, Bergmeister à Schemnitz, en Hongrie.

roboré les idées qu'il avait puisées auprès de Dolomieu, avait rigoureusement défini, à l'aide d'un procédé d'analyse nouveau, la constitution minéralogique des roches volcaniques, et l'analogie qui unit toutes ces roches, lors même qu'elles sont de nature variée (1).

Travaux des géomètres sur la chaleur planétaire.

Enfin on sait que plusieurs géomètres ont cherché à étudier par le calcul les conditions intérieures du globe aux différentes époques. Je ne puis que signaler ici les recherches importantes faites dans ce but par Fourier, Lagrange, Laplace et Poisson (2).

En résumé, c'est par plusieurs voies très-différentes que l'on est arrivé à admettre au rang d'idée mère en géologie l'idée de la chaleur interne, et à reconnaître l'importance de la doctrine du métamorphisme qui s'y rattache comme un effet à sa cause.

CHAPITRE V.

MODIFICATIONS SURVENUES DEPUIS HUTTON DANS LES IDÉES RELATIVES AU MÉTAMORPHISME (3).

La voie sèche est longtemps exclusivement admise comme cause des phénomènes métamorphiques.

Jusqu'à l'époque à laquelle nous nous sommes arrêté plus haut au chapitre III, c'est-à-dire pendant le pre-

(1) Recherches sur différents produits des volcans. *Journal des mines*, t. XXI, p. 249, 1807; t. XXIII, p. 35, 1808. Mémoire sur les substances minérales dites en masse qui entrent dans la constitution des roches volcaniques de tous les âges. *Journal de physique*, t. LXXXIII, 1816.

(2) On peut encore citer : Élie de Beaumont; note sur le rapport qui existe entre le refroidissement progressif de la masse du globe terrestre et celui de la surface. *Comptes rendus*, t. XIX, 1844, et l'*Institut*, p. 32, 1845; Libri; Mémoire sur la théorie mathématique des températures terrestres. *Annales de chimie et de physique*, t. II, p. 387; plusieurs mémoires importants de M. Hopkins et de M. Hennessy.

(3) Au lieu d'attribuer, comme le faisait Hutton, la chaleur subie ultérieurement par certains sédiments à la température du fond de la mer, que l'on sait maintenant être très-basse, on l'explique par d'autres causes, ainsi qu'on le verra dans la troisième partie de ce travail.

mier tiers de ce siècle, on avait dû, à l'exemple de Hutton, considérer la chaleur, aidée de quelques substances volatiles, comme la cause à peu près exclusive de tous les phénomènes métamorphiques. On pensait que les roches transformées ont cristallisé, après avoir été ramollies et peut-être imbibées par les masses ignées voisines ou sous-jacentes (1). Nous verrons un peu plus loin que toutes les expériences synthétiques des ateliers métallurgiques et des laboratoires semblaient ratifier complétement cette manière de voir. Certains faits plus attentivement observés vinrent se mettre à l'encontre d'une hypothèse si généralement admise. C'est en vain que pour lever des objections sérieuses qui naquirent alors, on fit intervenir des actions de cémentation, d'électricité (2), de dissolution possible de certains silicates les uns par les autres. Des doutes pro-

(1) Boué. Mémoire cité plus haut, 1824.

Fournet. Lettre sur les modifications que certaines roches ont subies par l'action d'autres roches. *Annales de chimie et de physique*, 2e série, t. LX, p. 291, 1835. — Simplification de l'étude d'une certaine classe de filons. *Société des sciences de Lyon*, 1845. — *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. IV, p. 222.

M. Fournet, qui a personnifié cette école en France, compare ces phénomènes à l'imbibition des parois d'une coupelle. Il a cherché à démontrer par l'expérience que des schistes argileux soumis aux influences combinées de la chaleur et de certains corps fusibles peuvent se laisser pénétrer avec la plus grande facilité par ces derniers, et subir ainsi des actions chimiques. Les ganglions quartzeux renfermés dans les micaschistes n'auraient pas d'autre origine. Le quartz, par suite d'un état de *surfusion* particulier, aurait pu se consolider après des substances plus fusibles. C'est encore ainsi que M. Fournet explique l'altération de la roche éruptive par la roche encaissante, altération qu'il nomme *endomorphisme*.

(2) M. Virlet a attribué les effets de métamorphisme à des actions électro-chimiques, peut-être développées par le concours d'une haute température. *Bulletin de la société géologique*, t. V, p. 313, 1835.

fonds avaient pris naissance et depuis lors ils ne firent que grandir. A ce moment, une voie nouvelle semble s'ouvrir; nous verrons bientôt ceux qùi s'y sont avancés les premiers.

Origine aqueu admise d'abo pour les dép métallifères 1830 à 1839

On a d'abord reconnu que les filons métallifères ne peuvent, pour la plupart, avoir été remplis, ni par voie de fusion, ni par voie de sublimation, mais par des matières tenues en dissolution dans des eaux qui étaient à une haute température.

Les remarques de M. Longchamp sur la relation entre les sources thermales de Chaudesaigues et le filon de pyrite de fer duquel elles jaillissent (1), et, d'autre part, les ingénieuses expériences dans lesquelles M. Becquerel parvenait à imiter par voie humide la galène, l'antimoine sulfuré et d'autres minéraux des filons, contribuèrent à ramener les idées dans cette direction (2). Dès 1833 M. Fournet après avoir étudié les filons de Pontgibaud en Auvergne, concluait qu'ils ont été probablement remplis par des incrustations d'eaux minérales (3). La ressemblance minéralogique entre les filons de la Saxe et les dépôts siliceux et métallifères du lias de la Bourgogne qui, selon toute probabi-

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XXXII, p. 294, 1826.

(2) Même recueil. Octobre 1829, septembre 1832, mai 1833.

(3) *Bulletin de la Société géologique de France*, t. V, p. 188.

M. Boubée a attribué la même origine aux gîtes de fer et autres qui, dans les Pyrénées, sont situés sur la limite du granite et des terrains stratifiés. *Bulletin de la Société géologique de France*, t. III, p. 251, 1833.

En 1837, M. Robert Were Fox montra, dans ses « Observations on mineral veins » (*Report of the royal Cornwall polytechnic Society for* 1836), comment les filons paraissent devoir leur origine à des sources thermales; il attribuait leur formation à des effets thermo-électriques dont il croyait trouver des indices dans les expériences qu'il avait faites sur les filons.

M. de La Bèche adopta ces idées dans son *Geological Report on Cornwall and Devon*, 1839.

lité, n'ont pu s'y épancher que par voie humide, confirme cette opinion, ainsi que le montra M. le baron de Beust (1). D'ailleurs, comme M. Élie de Beaumont l'exposait depuis longtemps dans son Cours de l'École des mines : « Les filons se trouvent généralement près des lignes de contact des roches stratifiées avec les roches non stratifiées qui les ont pénétrées ; et telle est aussi la position habituelle des sources thermales qui, de nos jours, déposent encore assez fréquemment diverses substances pierreuses ou métalliques dans les canaux qu'elles parcourent (2). » La conclusion importante sur le mode de remplissage des filons, à laquelle conduisaient ces divers rapprochements, était plus différente encore au fond de l'hypothèse de Werner que de celles de Descartes et de Hutton.

ction tirée de le des roches morphiques s-mêmes.

D'ailleurs l'étude des terrains métamorphiques eux-mêmes montrait des circonstances que la voie sèche ne peut expliquer, et notamment l'étendue et l'uniformité des massifs transformés, le mode de dissémination et d'agencement de minéraux qui ont pris naissance dans ces roches, qu'on reconnaissait n'avoir pas été ramollies et n'avoir jamais subi une température très-élevée. Cette dernière induction résulte de différents faits, qui seront signalés dans la troisième partie de ce travail.

---

(1) *Kritische Beleuchtung der Wernerschen Gangtheorie*, p. 6, 1840. L'auteur y signale la ressemblance frappante des dépôts renfermés dans les couches d'arkose de la Bourgogne avec les filons de Freyberg.

Les intéressantes observations de M. Bischof sur la formation de la pyrite de fer et sur les sources minérales contribuèrent à confirmer ce résultat. Le mémoire qu'il a publié lui-même sur le remplissage des filons date de 1843. *Ueber die Entstehung des Quarzes and Erz-Gänge.*

(2) *Explication de la carte géologique de France*, t. I, p. 43, 1841.

M. Durocher à la suite d'un mémoire important publié en 1846 (1), où il consigna beaucoup d'observations qui lui sont propres, attribua les effets de métamorphisme à des actions lentes et à des transports moléculaires très-analogues à la cémentation. Observatio de M. Duroc et autres sur ce suj

D'autres considérations qui portaient à conclure que l'eau a probablement servi de véhicule à la chaleur dans le métamorphisme sont dues à Fuchs, à MM. Sillimann et Dana (2) et à M. Schalfaütl (3).

Il convient surtout de rappeler les nombreux travaux de M. Bischof, qui, muni d'une critique très-judicieuse et des armes de la chimie n'a cessé de combattre depuis longtemps les idées ultraplutoniques qui étaient en vogue à l'époque où nous parlons (4). M. Volger suivant cet exemple a aussi apporté de nombreux Nombreu argument de M. Bisch en faveu de la voie hum

(1) Études sur le métamorphisme. *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. III, p. 547, 1846. — Métamorphisme dans les Pyrénées. *Annales des mines*, 3e série, t. VI, p. 78.

(2) Si une roche est frittée jusqu'à 15 mètres, elle devrait être fondue au moins sur la moitié de cette épaisseur dans le cas où la chaleur serait la cause de la transformation. La chaleur paraît avoir eu l'eau pour véhicule. *Sillimann's Journal*, t. XLV, 1843.

(3) *Die neuesten geologischen Hypothesen und ihr Verhältniss zur Naturwissenschaft überhaupt.* Leonhards Jahrbuch, p. 858, 1845.

(4) L'ouvrage si riche en observations, intitulé *Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie* par M. Bischof, a été publié de 1847 à 1855.

L'un des principaux arguments que développe M. Bischof contre la voix sèche consiste dans la production de minéraux semblables à ceux des roches cristallines dans les pseudomorphoses ou épigénies, c'est-à-dire dans des conditions où ces minéraux ne peuvent avoir été formés que par voie humide. Il ne peut d'ailleurs attribuer un rôle important à la vapeur d'eau, en voyant sa faible action sur les roches, soit dans la mine incendiée de Dutweiler, qui brûle depuis près de deux siècles, soit dans les soffionis de la Toscane.

arguments contre l'action de la chaleur qu'il repousse même entièrement.

clusions nblables 'autres logues.

Après avoir étudié dans toutes leurs principales particularités les phénomènes volcaniques de l'Islande, M: Bunsen appelait l'attention sur l'action des gaz et de l'eau, à des températures comparables à celles des fumarolles actuelles, et il les considérait comme une cause du métamorphisme au moins aussi puissante que la chaleur (1).

M. Cotta a remarqué aussi avec justesse, en décrivant les grands exemples de métamorphisme des Alpes, que de tels effets ne peuvent avoir eu lieu sans la coopération de l'eau, qui provenait soit de l'humidité des roches, soit de sources chaudes (2).

sultats travail I. Delesse sur le morphisme contact.

Dans ces derniers temps M. Delesse a examiné à l'aide de l'analyse chimique, la nature des roches éruptives et des roches encaissantes aux abords de leur contact (3). D'après un grand nombre de faits, il a également reconnu que les roches trappéennes et granitiques paraissent avoir modifié les roches encaissantes, moins par leur chaleur propre que par des émanations aqueuses qui étaient chargées de diverses substances salines ou acides (3).

ervention l'eau et es éléments nus comme -probable dans istallisation granite.

En même temps que les observations dont nous venons de parler, tendaient à faire admettre l'action de l'eau dans le métamorphisme, on reconnaissait

---

(1) Ueber den innern Zusammenhang der pseudovulkanischen Erscheinungen Islands. *Annalen der Chemie und Pharmacie*, t. LXII, p. 1, 1847. — Ueber die Processe der Vulkanischen Gesteinbildungen Islands. *Pogg. Ann.*, p. 83, 197, 1851; Leonhards Jarhb., p. 537, 1851.

(2) *Geologische Briefe aus den Alpen*, p. 243, 1850.

(3) Études sur le métamorphisme. *Annales des mines*, 5ᵉ série, t. XII et XIII, 1857 et 1858.

(4) C'est un fait analogue à celui que démontre l'association des gîtes métallifères aux roches éruptives.

d'autre part que la roche éruptive à laquelle on a attribué la puissance de transformation la plus énergique sur les masses encaissantes, le granite, n'a lui-même pu être produit par voie de fusion purement ignée. Breislack (1), Fuchs, de Boucheporn, M. Schafhaütl et M. Scheerer (2) conclurent de l'abondance de ses grains de quartz isolés, du mode de groupement de ses éléments, enfin de la présence des minéraux pyrognomoniques qu'il contient parfois, que le granite devait avoir renfermé originellement de l'eau; et, en outre, que la présence de cette eau pouvait avoir prolongé la plasticité de la masse beaucoup au-dessous de son point de fusion actuel. M. Élie de Beaumont montra de plus que le granite doit très-problablement sa composition minéralogique à diverses substances qui, depuis sa consolidation, ont en partie disparu avec l'eau, telles que des composés chlorés, fluorés, borés. Ainsi le mode de formation du granite doit avoir un caractère intermé-

(1) Breislack, quoique combattant avec force les idées des neptunistes, remarqua, d'après l'ordre de consolidation des éléments du granite et la présence de gouttes de liquide que renferme quelquefois son quartz, qu'il est difficile d'admettre que cette roche ait été à l'état de véritable fusion. *Institutions géologiques*, traduction française, 1818. « Pourquoi le feu et l'eau ne pourraient-ils pas avoir coopéré à la production de notre terre à diverses époques et quelquefois même en réunissant leurs efforts? » T. I, p. 68.

Ainsi il cherchait à poursuivre l'idée que Faujas-Saint-Fond et Spallanzani avaient déjà entrevue, en rapprochant deux agents qui ne s'excluent aucunement, comme le prétendaient alors les deux antagonistes, et qu'il voyait, au contraire, intimement associés dans les volcans dont il avait fait une étude approfondie. « Si, dit ailleurs Breislack, les expériences doivent servir de guide au philosophe et si celles qui s'effectuent dans les volcans sont les plus importantes que nous puissions recueillir, pourquoi ne nous sera-t-il pas permis d'en faire usage? »

(2) Discussion sur la nature plutonique du granite et des si-

diaire entre l'origine des filons ordinaires et l'origine des éruptions volcaniques et basiques (1), et l'état éminemment cristallin de cette roche ne provient pas de ce qu'elle se serait solidifiée à de grandes profondeurs.

Les ingénieuses observations de M. Sorby sur les liquides renfermés dans les vacuoles microscopiques des roches ont confirmé tout à fait l'intervention de l'eau et de la chaleur dans la formation du granite (2). Je rappellerai à cette occasion que déjà les goutelettes de liquides que l'on distingue à l'œil nu dans certains cristaux avec des matières gazeuses, avaient fixé l'attention de Davy à qui leur examen avait fait soupçonner que l'eau a concouru à la formation du cristal de roche, avec l'aide de la pression. Plus tard sir David Brewster a étendu ce genre de recherches (3).

Un autre ordre de faits a encore confirmé dans cette induction que le granite a pu être plastique, sans posséder une température très-élevée; c'est que les roches au milieu desquelles il a été injecté à l'état pâteux ne présentent quelquefois qu'une modification à peine sensible, même à leur contact immédiat avec lui (4).

---

licates cristallins qui s'y rallient. *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. IV, p. 468, février 1847.

Réponse aux objections de M. Durocher. Même recueil, t. VI, 644, et VIII, 500.

(1) Élie de Beaumont. Note sur les émanations volcaniques et métallifères. *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e s., t. IV, p. 1291. M. Élie de Beaumont qualifie l'état de plasticité du granite sous le nom de *surfusion gélatineuse*, p. 1310.

(2) Sorby. On the microscopical structure of cristals, etc. *Quarterly journal of geol. Society*, p. 453, 1858.— *Comptes rendus de l'Académie*, t. XLVI, p. 146, avec des observations de M. Élie de Beaumont.

(3) *Annales de chimie et de physique*, t. XXI, p. 182, 1822. La topaze du Brésil renferme aussi divers liquides d'après sir David Brewster. *Poggendorff's Annalen*, VII, 493.

(4) M. Delesse a très-bien résumé récemment les faits qui le

Les roches éruptives autres que le granite, paraissent également avoir été formées avec le concours de l'eau et pour la plupart à une température bien moins élevée qu'on ne l'avait supposé (1). Or si les roches éruptives elles-mêmes sont dépossédées du prestige de haute température dont elles ont longtemps joui, à plus forte raison leur chaleur ne peut avoir seule produit les effets énergiques qu'on lui a souvent attribués.

Fait analogue pour les anciennes roches éruptives.

C'est ainsi que l'on est arrivé en quelque sorte par trois voies différentes, à la conclusion que l'eau aidée de quelques substances devait avoir été à peu près partout, dans le métamorphisme aussi bien que dans la formation des principaux gîtes métallifères et des roches éruptives elles-mêmes, un coopérateur puissant de la chaleur.

En résumé la chaleur paraît avoir eu partout un collaborateur.

J'ai déjà parlé des premières observations qui ont fait connaître l'état métamorphique de certaines dolomies. Depuis lors on a confirmé cette origine dans diverses contrées. M. Lardy, dans son excellent mémoire sur la constitution géognostique du Saint-Gothard (1829), remarqua que la dolomie et le gypse doivent avoir une relation avec l'ouverture de la crevasse qui forme la vallée du Tessin (2). Les polypiers convertis en dolomie et trouvés par M. de Verneuil à Gerolstein ont fourni d'ailleurs, en faveur de la transformation de cette roche, un argument que M. Élie de Beaumont a depuis longtemps fait valoir

Observations concernant l'origine métamorphique de certaines dolomies.

---

prouvent en y comprenant ses propres observations sur le métamorphisme de contact : Recherches sur l'origine des roches. *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e s., t. XV, p. 728.

M. Henri Rose a aussi tout récemment émis des arguments dans le même sens : Ueber die Verschiedenen zustände der Kieselsaüre. *Poggendorff's Annalen*, 1859.

(1) Le mémoire précité de M. Delesse en énumère les principales preuves.

(2) *Denkschrift der Schweizerischen Gesellschaft*, t. I, p. 200, 1829.

de M. Élie Beaumont confirme e origine génique.

M. Élie de Beaumont s'appuyant en outre sur l'état si remarquablement caverneux et fendillé de beaucoup de dolomies, telles que celles du Tyrol, de Lugano, de la Franconie a montré dès 1829, que cette structure doit résulter d'une épigénie, et de la substitution du carbonate de magnésie au carbonate de chaux en proportions équivalentes (1).

Quant à la manière dont cette substitution peut avoir eu lieu, l'étude des dolomies et des gypses de la vallée du Tessin avait suggéré à M. de Collegno, déjà en 1834, que le carbonate de chaux a vraisemblablement été transformé simultanément en gypse et en dolomie, par l'action d'eaux minérales dont il a même recherché les traces dans le Val Canaria (2). C'est cette idée qui a conduit plus tard M. Haidinger et M. de Morlot à imiter artificiellement la dolomie (3).

Toutefois dans beaucoup de terrains stratifiés, tels que le trias, la dolomie est en couches régulières; s'il y a eu une substitution, elle a dû s'opérer au moment même de son dépôt. Cette réserve a été faite par M. Élie de Beaumont, notamment en faveur des dolomies des marnes irisées (4).

---

(1) Élie de Beaumont. Note sur la forme la plus ordinaire des objections relatives à l'origine de la dolomie. *Annales des sciences naturelles*, t. XVIII, p. 269, 1829. — *Bulletin de la Société géologique de France*, t. VIII, p. 173, 1826.

(2) Notes sur quelques points des Alpes suisses. *Bulletin de la Société géologique de France*, t. VI, p. 110, 1834.

(3) Quelques savants, entre autres MM. Daubeny, Leube et Grandjean, considérèrent aussi la dolomie comme résultant de l'attaque de calcaires magnésiens par les eaux atmosphériques. *Britisch Association*, 1845.

D'autres, comme MM. Rozet et Puggaard, ont attribué une origine éruptive à certaines dolomies qui ont la forme de filons et contiennent des fragments empâtés (Framont, Grisons, Fulda, Helsingfors et Sorrente).

(4) Observations sur les différentes formations qui, dans le

Il a été aussi reconnu que dans certains gisements le gypse résulte d'une transformation du calcaire. Je mentionnerai seulement les observations d'Hoffmann et de M. Coquand sur les gypses produits par les fumaroles aux îles Lipari et en Toscane, et celles de M. Dufrénoy sur les gypses associés aux ophites des Pyrénées.

La formation de la dolomie, de l'anhydrite et du sel gemme a donné lieu à de très-nombreux travaux qu'il m'est impossible de mentionner ici (1).

CHAPITRE VI.

MÉTAMORPHISME DE STRUCTURE.

Du temps de Hutton, on n'avait pas encore remarqué que la structure feuilletée, si fréquente dans des massifs entiers de roches, résulte d'une action postérieure à leur formation, et par conséquent constitue aussi un métamorphisme.

Distinction établie entr la schistosit et la stratificat dès le comme cement du siè

La distinction que nous reconnaissons aujourd'hui entre la structure feuilletée et la stratification a cependant été déjà décrite au commencement de ce siècle par divers auteurs, parmi lesquels on doit citer Lasius (2), Voigt (3), Mohs (4), de Hoff (5), Schmidt (6).

---

système des Vosges, séparent la formation houillère de celle du lias. *Mémoires pour servir à une description géologique de la France*, t. I, p. 78, 153, 192. Années 1827 et 1828.

(1) Parmi les principaux, je rappellerai l'ouvrage de M. d'Alberti, les mémoires de M. Fournet et de M. Boué. *Ueber die Dolomite. Sitzungs Berichte der Acad. der Wissens. zu Wien.*, t. XII, p. 422, 1854.

(2) *Das Harzgebirge.*

(3) *Praktische Gebirgskunde*, 1797.

(4) *Molls Ephemeriden*, t. III, p. 71, 1807.

(5) Carrières d'ardoises de Lehesten en Franconie.

(6) En Westphalie.

En Angleterre, M. John Philipps avait très-bien reconnu en Yorkshire la différence entre le *vrai* et le *faux* clivage. M. le professeur Sedgwick (1) confirma ensuite et généralisa le fait en montrant que dans le pays de Galles les feuillets sont le plus ordinairement obliques à la stratification (2).

…stance …irection …feuillets …statée Sedgwick, …835.

Une autre circonstance très-remarquable a été signalée par M. Sedgwick; c'est la constance surprenante avec laquelle les feuillets se poursuivent sur de grandes étendues, et même au milieu des contournements les plus prononcés des couches auxquelles elles appartiennent. Cette observation a été parfaitement confirmée par MM. Studer et Forbes dans les Alpes, par sir Roderick Murchison, par M. Darwin dans les Andes, par M. Rogers dans les monts Appalaches (3) et par d'autres géologues.

…relations …ec les …rnements

Il existe, toutefois, entre la position des feuillets et celle des couches, des relations que M. Baur et M. Sharpe ont fait ressortir avec une grande sagacité.

…othèses …mises …la cause …du …oppement …structure …illetée.

La cause du développement de la structure feuilletée des phyllades a été attribuée à des actions cristallines, polaires ou électriques. Ces vagues hypothèses ne pouvaient guère s'appuyer que sur ce fait annoncé par M. Robert Fox, que l'argile humide en présence de courants électriques peut devenir sensiblement feuilletée (4). Ces causes, qu'on pourrait qualifier d'occultes,

(1) On the chemical changes produced on the aggregate of stratified rocks. *Transact. Geol. Societ.*, t. III, p. 354, 1835.

(2) M. l'ingénieur des mines Parrot avait reconnu la même distinction dans les ardoises des Ardennes, d'après un rapport manuscrit de 1826. *Explication de la carte géologique de France*, t. I, p. 262.

(3) *Proceedings of american naturalist and geologist*, 1845.

(4) *Report on Cornwall polytechnic society*, 1837.

M. R. Hunt a fait plus tard des expériences du même genre. *Memoirs of the geological Survey of Great Britain*, t. I, p. 433.

ont cependant été adoptées par des savants éminents tels que M. Sedgwick, sir Henry de la Bèche (1), sir John Herschel (2), M. Hopkins (3) et M. Scheerer (4).

M. Baur reconnait qu'une pressi[on] mécanique a accompagn[é] la production des feuillets, 1846.

Ceci s'explique; car le fait remarquable qui était le plus particulièrement propre à guider vers une saine explication n'a été découvert qu'assez récemment par M. le Bergmeister Baur (5). Ce géologue a le premier montré, dans un travail très-remarquable (1846), que le clivage a pris naissance lors du contournement des couches et qu'il paraît résulter d'une pression, normalement à laquelle il s'est développé.

Observations de M. Sharpe sur le même suj[et], 1847.

Ce n'est qu'un an plus tard que M. Sharpe, à qui l'on a souvent accordé la priorité, est arrivé à la même conclusion par d'autres observations très-précises sur la déformation subie par les fossiles. Il a ensuite établi le même fait pour les roches dans lesquelles on ne trouve pas de débris organiques (6).

Observations et expériences de M. Sorby, 1853.

La première tentative pour imiter mécaniquement le phénomène a été exécutée par M. Sorby, auquel on est

---

(1) *Geological report on Cornwall and Devon*, p. 281, 1839. Les forces polaires, suppose l'auteur, seraient probablement en relation avec le magnétisme terrestre.

(2) Lyell. *Manuel de géologie*, 5e édition, t. II, p. 448.

(3) *On the connexion of geology with terrestrial magnetisme.*

(4) *Karstens Archiv fur Mineralogie*, t. XVI, p. 109, 1842. M. Darwin a également proposé une explication de ce genre. *Geological observations on South America*, p. 168.

(5) Baur. Ueber die Lagerung des Dachschiefers, und über die von der Schichtung abweichenden Schieferung des Thonschiefers. *Karstens Archiv.*, t. XX, p. 398, 1846. La conclusion de M. Baur est surtout déduite de divers exemples de glissement fort habilement observés.

(6) *Quarterly Review of the geological Society of London*, t. III, 1847, p. 74. Plus tard, M. Sharpe a publié un excellent mémoire sur le même sujet. *Geological Proceedings*, novembre 1854.

redevable d'autres recherches ingénieuses (1). Il avait d'ailleurs reconnu par un examen microscopique de la disposition de leurs éléments, ainsi que par le refoulement de certains lits minces, que les roches schisteuses ont éprouvé une compression.

yndall imite ficiellement structure histeuse.

M. John Tyndall alla plus loin, il produisit une structure feuilletée, tout à fait semblable à celle de l'ardoise, dans différentes substances plastiques, telles que la terre de pipe et la cire, en les comprimant et les soumettant à une espèce de laminage (2). C'est sans doute ainsi que cet habile physicien a été conduit plus tard à s'occuper de la structure et du mouvement des glaciers.

plication u calcul ce sujet.

Je terminerai en rappelant que M. Laugel, ingénieur des mines, et M. le professeur Haughton ont cherché à soumettre au calcul les effets de pression qui ont produit la schistosité.

he des idées r l'origine schistosité.

L'histoire de la succession des idées sur la formation des feuillets dans les roches schisteuses pourrait servir d'enseignement au point de vue philosophique. On voit, en effet, combien il est facile aux meilleurs esprits d'errer, surtout en géologie, dès que l'on sort de la ligne des observations et des faits.

D'ailleurs, après que l'influence de la pression mécanique eût mis sur la voie de la cause probable du phénomène, il fallut dix ans pour qu'une expérience des plus simples qui, ce semble, aurait dû se présenter immédiatement à l'esprit, vint contrôler l'induction.

---

(1) En laminant de l'argile dans laquelle il avait disséminé des paillettes d'oxyde de fer, M. Sorby a vu qu'elles s'alignent perpendiculairement à la pression. *Edinb. Phil. Journal*, 1853. — *Quarterly Review*, t. X, p. 73, 1854.

(2) Comparative view of the clivage of crystals and slate rocks. *Philosophical magazine*, 1856.

[redacted]

CHAPITRE VII.

MENTION DES AUTRES OBSERVATEURS QUI SE SONT OCCUPÉS DU MÉTAMORPHISME.

Principaux observateur qui se sont occup du métamorphis à part ceu dont il vie d'être questi

Les faits sur lesquels est basée la doctrine du métamorphisme ont été reconnus dans toutes les régions du globe, depuis trente ans surtout que l'attention a été portée sur ce sujet par bien d'autres géologues dont quelques-uns ont beaucoup exagéré ou faussé la portée du phénomène. Les observateurs sont si nombreux qu'il nous serait impossible, sans allonger démesurément ce travail, de signaler autre chose que les principaux noms. Ce sont :

En France, MM. Alexandre Brongniart (1), d'Omalius, de Bonnard (2), Fournet (3), de Boblaye (4), Virlet (5),

(1) Brongniart. Sur les ophiolites; sur les caractères zoologiques des formations. *Annales des mines*, 1821.

Brongniart et d'Omalius. Sur le Cotentin, 1814. *Journal des mines*, 1815.

(2) Les accidents métallifères siliceux et dolomitiques qui marquent sur beaucoup de points de la France centrale le contact du lias et du granite, et auxquels M. de Bonnard a le premier rendu attentif, se lient certainement de près au métamorphisme. *Annales des mines*, 1re série, t. VIII, 1824.

(3) Outre les mémoires où M. Fournet a fait connaître depuis 1836 un très-grand nombre d'observations précises et de remarques ingénieuses sur le métamorphisme, comme je l'ai rappelé plus haut, le savant professeur a réuni à la Faculté des sciences de Lyon une collection intéressante qui a été étudiée par beaucoup de savants. Je citerai encore ses Études sur les Alpes (1845 à 1849).

(4) La découverte de schistes à la fois maclifères et renfermant beaucoup de fossiles dans les terrains de transition, par M. Boblaye, a introduit un nouvel élément bien positif dans la question du métamorphisme. *Comptes rendus de l'Académie*, 1838, et *Bulletin de la Société géologique*, 1re série, t. X, p. 227.

(5) M. Virlet a depuis longtemps fait connaître de nombreux effets de métamorphisme en Grèce, et même a étendu les idées

A. Burat, de Boucheporn (1), Gras (2), Ch. Deville, Coquand (3), Puton (4), Gueymard, Lory, Angelot, Drouot, Delanoue;

En Angleterre, sir James Mackensie, Jameson, Conybeare, Buckland, Greenough, sir Roderick Murchison (5), Sedgwick, sir Henry de la Bêche (6), John Phil-

---

du métamorphisme à l'extrême en les appliquant aux roches éruptives, tels que le granite, la protogyne, le trachyte. *Géologie de la Grèce*, p. 67, 184, 294, 298, 304 et 306. — *Bulletin de la Société géologique*, t. VI, p. 279 et 313, 1834; t. VII, p. 310, 1835. — Métamorphisme normal et probabilité de roches non primitives à la surface du globe. Même recueil, 1re série, t. XIV, p. 501.

(1) De Boucheporn, en exagérant l'action que j'avais antérieurement attribuée au fluor, a admis que par l'échauffement la matière élémentaire du granite a dégagé des fluorures de silicium et de métal alcalin qui sont la cause de la transformation de la roche voisine (page 271 de son ouvrage). Son idée originale sur l'action du cyanogène dans la formation du globe mérite aussi d'être rappelée.

(2) M. Gras a fait d'importantes observations sur les roches cristallines des Alpes du Dauphiné et de la Savoie, et considéré les spilites de cette chaîne comme métamorphiques.

(3) M. Coquand a fourni des faits très-intéressants au métamorphisme, particulièrement en décrivant les solfatares de la Toscane et en en étudiant la formation des gypses et de la dolomie.

(4) L'ouvrage de M. Puton sur les métamorphoses survenues dans certaines roches des Vosges (1838) renferme aussi beaucoup de faits bien observés.

(5) Les ouvrages de sir Roderick Murchison sur les terrains siluriens de l'Angleterre, sur les Alpes et sur l'Oural, présentent de nombreux et importants exemples de métamorphisme.

(6) Sir Henry de la Bêche, dans son *Manuel théorique*, dans l'*Art d'observer*, dans ses *Recherches géologiques*, enfin dans le *Geological Report on Cornwall and Devon*, a émis sur le métamorphisme une foule d'observations judicieuses et fines, comme sur tous les autres sujets de la géologie.

(7) Parmi les travaux de M. J. Phillips, il faut citer ici le rapport sur le clivage schisteux qu'il a inséré dans les mémoires de l'*Association britannique*.

lips (7), le colonel Portlock, Daubeny, Berger, Poulett-Scrope, Henslow, Ramsay;

En Allemagne, MM. de Humboldt, Naumann (1), de Leonhard, Mitscherlich, Haussmann, W. Haidinger (2), B. Cotta (3), G. Rose, Abich, d'Alberti, de Morlot, Blum (4), Credner;

En Suisse et en Italie, M. Escher de la Linth (5), de Charpentier, Lardy, de Collegno (6), de la Marmora, A. Favre (7), de Marignac, Théobald;

Dans la presqu'île scandinave, M. A. Erdmann;

En Amérique, MM. Rogers, Hithcock, Whitney, sir William Logan, Sterry Hunt.

CHAPITRE VIII.

HISTOIRE DES EXPÉRIENCES SYNTHÉTIQUES POUVANT ÉCLAIRER LA QUESTION DU MÉTAMORPHISME.

Expérience synthétique sur la forma[tion] des minérau[x] et des roche[s]. Opinion de Leibni[tz]

Les progrès que nous venons de résumer ont coûté plus d'efforts qu'on ne pourrait le supposer aujourd'hui; car on n'avait guère pour se conduire que des faits purement géologiques, éclairés par l'analogie et l'induction. Aussi serait-on resté dans des aperçus nécessairement assez vagues, si l'expérience synthétique

---

(1) A part les observations qu'il a faites en Saxe et en Norwége, M. Naumann a exposé en détail ce qui concerne le métamorphisme dans son excellent traité de géognosie.

(2) M. Haidinger a proposé de distinguer les métamorphismes *exogène* et *catogène*, selon qu'ils s'exercent près de la surface ou dans la profondeur.

(3) Notamment dans les *Geologische Briefe aus den Alpen*.

(4) Dans ses études sur les pseudomorphes, M. Blum a fait connaître beaucoup de faits qui se lient au métamorphisme.

(5) Observations très-nombreuses faites en Suisse avec M. Studer.

(6) *Sur le métamorphisme des terrains de sédiment*. Bordeaux, 1842.

(7) *Notice sur la géologie du Tyrol allemand*, 1849.

n'était venue, à la suite de l'observation directe, pour la fixer et la compléter.

J'ai cru devoir énumérer ici à part, et avec quelques détails, les principales tentatives qui ont été faites jusqu'à présent pour imiter artificiellement les minéraux et les roches. Elles jettent du jour sur les divers procédés qui peuvent avoir été mis en jeu dans les réactions si variées de la nature ; d'ailleurs, ce sont les premiers pas dans une méthode qui paraît appelée à révéler des faits très-importants pour l'histoire des terrains et pour le métamorphisme.

Déjà Leibnitz avait profondément apprécié toute l'utilité de l'expérience pour l'interprétation de la formation des terrains, et il avait comparé, autant qu'il était alors possible, les produits de la nature à ceux de laboratoire (1) ; mais c'est sous l'inspiration de Hutton, que les premières expériences synthétiques importantes ont été entreprises (2).

(1) « Il fera, selon nous, une œuvre importante, celui qui comparera soigneusement les produits tirés du sein de la terre avec les produits des laboratoires; car alors brilleront à nos yeux les rapports frappants qui existent entre les produits de la nature et ceux de l'art. Bien que l'auteur inépuisable des choses ait en son pouvoir des moyens divers d'effectuer ce qu'il veut, il se plaît néanmoins dans la constance au milieu de la variété de ses œuvres; et c'est déjà un grand pas vers la connaissance des choses que d'avoir trouvé seulement un moyen de les reproduire.— La *nature* n'est qu'un *art plus en grand.* » Protogée; traduction française précitée, § 9. — Ces lois générales du monde physique n'agissent-elles pas dans nos laboratoires, de même que dans les souterrains des montagnes? » Saussure. *Voyage dans les Alpes*, § 750.

(2) L'expérience par laquelle Lemery chercha à imiter, en 1700, les phénomènes des volcans en chauffant un mélange de fer et de soufre dans de la terre humide, reposait sur une fausse ressemblance et ne conduisit qu'à une déduction tout à fait erronée ; elle fit cependant assez de sensation pour devoir être mentionnée ici. (Mémoires de l'Académie des sciences, 1700.)

§ 1. *Fusion et refroidissement des roches.*

Buffon avait rigoureusement constaté, par des essais directs, que le granite et les principales roches cristallines sont *vitrescibles*. Il pensait que ces grandes masses de « *verres naturels* » avaient pu acquérir leur état cristallin à la suite d'un recuit suffisamment long (1).

Buffon reco le granit et d'autres r comme vitrescibles,

Dès la fin du siècle, sir James Hall, tout en étudiant, comme nous l'avons vu plus haut (page 170), l'influence combinée de la chaleur et de la pression sur le calcaire, entreprit de nombreuses expériences dans le but de voir si, comme le prétendaient les adversaires de Hutton, les roches formées par fusion doivent être restées vitreu-

Structur cristallin que prenn les silicat par un refroidisse convenabl

---

(1) *Histoires naturelle des minéraux.* Substances vitreuses : du granite.

« Ces *substances vitreuses*, dit-il, se fondent sans addition au même degré de feu que nos verres factices. » Buffon avait en outre bien remarqué que le feldspath est beaucoup plus fusible que les deux autres éléments du granite.

Leibnitz, il est vrai, avait déjà dit que la terre et les pierres soumises au feu donnent du verre ; que le verre n'est que la base de la terre (*Protogæa*, § 3), mais il confondait ici toutes les roches, y compris le calcaire, le silex et le sable, et il y a loin de cet aperçu vague aux premières expériences précises que fit Buffon.

J'ai mentionné plus haut (chapitre IV, § 1) celles de Spallanzani sur ce sujet.

On peut en outre rappeler ici les expériences que fit Buffon sur le refroidissement de sphères de diverses dimensions, les unes en métal, les autres en grès ou en marbre, pour se représenter les conditions du refroidissement du globe terrestre. Newton avait déjà annoncé l'intention de faire des expériences de ce genre.

M. G. Bischof a exécuté dans un but semblable une série intéressante d'observations sur la fusion et le refroidissement de sphères en basalte. *Die Wärmelehre des innern Erdkœrpers*, 1837, p. 443 à 505.

ses (1). Il reconnut, comme l'avait d'ailleurs pressenti Buffon, que certains silicates, au lieu de devenir vitreux, peuvent, à la faveur d'un refroidissement lent, devenir cristallins et prendre un aspect pierreux semblable à celui des roches éruptives. Ces expériences, qui furent continuées par d'autres savants, apprirent en outre qu'une masse vitreuse peut même cristalliser sans passer par la fusion (2).

§ 2. *Examen des cristaux obtenus accidentellement dans les ateliers métallurgiques.*

l'étude duits giques ologie.

C'est ainsi qu'on fut naturellement amené à examiner les silicates qui sortent en abondance des fourneaux métallurgiques à l'état de fusion.

nann tention ujet 16.

Conformément à l'idée de Leibnitz, dès 1816, M. le professeur Hausmann utilisa ce genre d'observation pour l'intelligence des phénomènes géologiques, et

(1) Les expériences de Sir James Hall sur la consolidation des basaltes et des roches fondues datent de 1800. *Edinb. Phil. trans.*, V et VI.

(2) Les expériences de Hall ont été continuées sur une plus grande échelle par Gregory Watt. *London Phil. trans.*, 1804 et *Bibliothèque britannique*, n° 256.

En même temps, M. Dartigues publiait les expériences sur la dévitrification du verre : *Journal de pharmacie*, LIX ; *Journal de physique*, LX ; *Annales de chimie*, t. L. Nous mentionnons encore les mémoires suivants : Fleuriau de Bellevue, Sur l'action du feu dans les volcans, LX, 1805 ; de Drée, Nouveau genre de liquéfaction ignée. *Journal des mines*, t. XXIV, 1805 ; *Mémoires de l'Académie des sciences*, même année. Il convient en outre de citer les observations bien antérieures de Réaumur, *Mémoires de l'Académie*, 1739 ; celles de James Keir et de Sam More, *London Phil. trans.*, 1776 et 1782.

Nous rappellerons aussi les observations récentes sur la dévitrification de MM. Dumas et Pelouze (*Comptes rendus*, 1845, 1855 et 1856) et celles de MM. Mitscherlich, Gustave Rose, Charles Deville et Delesse sur la fusion des roches.

depuis cette époque, ce vétéran de la science n'a cessé de lui apporter d'importants tributs (1).

M. Mitscherl découvre des espèce minérale dans des scori 1823.

Bientôt M. Mitscherlich reconnut que le péridot, le pyroxène et d'autres espèces minérales cristallisent accidentellement dans des scories d'usines (2). C'était le digne complément de son travail sur la relation entre la forme des cristaux et leur composition chimique qui venait de marquer d'une manière si éclatante dans la minéralogie et la chimie.

Nombreus observatio sur le même faites depuis l

Depuis lors, les scories métallurgiques ont été examinées avec soin à ce point de vue intéressant par MM. Berthier, Vivian, Bredberg, Sefström, Zinken, Wœhler, Kersten, Plattner, Rammelsberg, F. Sandberger, Percy, Miller et d'autres savants. M. le professeur de Leonhard a récemment publié sur ce sujet un ouvrage où tous les faits connus sur ce sujet sont habilement résumés et rapprochés (3).

Parmi des sublim de fourneau on découvr le feldspat

Les produits obtenus dans les usines par la cristallisation ou la liquation d'une masse fondue, ne sont pas les seuls qui soient de nature à intéresser le géologue. Il en est, comme la galène, l'oxyde de zinc, la blende,

---

(1) Bemerkungen uber die Benutzung metallurgischer Erfahrungen bei geologischen Forschungen. *Göttingsche gel. Anzeigen*, 1816, p. 489.

Ce premier travail a été suivi de nombreux et importants mémoires sur le même sujet.

Koch avait déjà décrit en 1809 quelques cristaux d'usines, entre autre l'oxyde de zinc. Depuis longtemps on avait aussi remarqué le graphite qui se sépare de la fonte.

(2) *Abhandhungen der k. Academie der Wissenschaften zu Berlin*, 1823, p. 25. — *Annales de chimie et de physique*, t. XXIV, p. 355.

(3) Docteur Gurtlt. *Pyrogennete künstliche Mineralien*, 1857, traduit en français par M. le professeur Dewalque.

Von Leonhard. *Huttenerzeugnisse*, 1858.

L'idocrase, la gehlénite sont du nombre des produits le plus fréquents.

qui s'isolent des foyers, soit par une sublimation immédiate, soit par la volatilisation d'une partie ou de la totalité de leurs éléments. Parmi ces résultats de condensation, le plus remarquable est le feldspath, qui a été recueilli à diverses reprises dans la partie supérieure des fourneaux à cuivre du Mansfeld, dans des cadmies, et dont l'existence, d'abord simplement soupçonnée, a été mise hors de doute par l'examen de M. Heine et l'analyse de M. Kersten (1). La formation de ce minéral important par voie de vapeur mérite d'autant plus d'attention que, malgré beaucoup de tentatives, on n'a pas encore pu l'obtenir cristallisé par une fusion directe.

§ 3. *Expériences synthétiques par fusion simple ou de mélanges divers.*

Expériences synthétiques par voie sèche.

La vue des cristaux qui se forment accidentellement dans les usines a nécessairement conduit à faire des expériences directes de voie sèche par différents procédés (2).

Les premiers résultats sont dus à M. Berthier, 1823.

C'est à M. Berthier que l'on doit les premières tentatives dans cette direction intéressante. En fondant la silice avec différentes bases en proportions définies, il a obtenu, dès 1823, des combinaisons cristallines identiques à celles de la nature, notamment le pyroxène (3).

Ebelmen obtient des minéraux infusibles par un procédé nouveau, 1847 à 1851.

Plus tard, Ebelmen parvint, par un procédé très-ingénieux qui lui appartient, à obtenir des combinai-

---

(1) *Poggendorff's Annalen*, t. XXXIII, p. 336 et XXXIV, p. 531.

(2) On a cherché aussi à faciliter la cristallisation de diverses manières, en agissant sur de grandes masses, qui se refroidissent très-lentement, et en y insufflant des gaz pour produire des géodes.

(3) *Annales de chimie et de physique*, t. XXIV, p. 365, 1823.

sons infusibles. Ce procédé consiste à employer des dissolvants à l'état de fusion, et pouvant se vaporiser lentement à de très-hautes températures, tels que l'acide borique, les phosphates ou les carbonates alcalins. C'est ainsi qu'il a produit le corindon, les différentes sortes de spinelles, la cymophane, le péridot, la perowskite et d'autres espèces (1).

Procédé de MM. He Deville et Ca 1858.

La réaction mutuelle des fluorures métalliques volatils et de composés oxygénés à des températures aussi très-élevées, constitue un procédé qui a fourni dans ces derniers temps à ses auteurs, MM. Henri Deville et Caron, de très-belles reproductions de minéraux infusibles, tels que le corindon coloré de diverses manières et la staurotide (2). Les mêmes chimistes ont imaginé un procédé différent pour reproduire l'apatite (3).

Corindon de M. Gaud 1857.

C'est également par une volatilisation partielle que M. Gaudin a obtenu le rubis artificiel en fondant à une très-haute température un mélange d'alun et de sulfate de potasse (4).

Diamant par M. Despre

M. Despretz a annoncé qu'il avait obtenu du diamant par divers procédés basés sur le transport et le dépôt lent du carbone par un courant électrique (5).

---

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XXII, p. 221 et t. XXV, p. 279. — *Annales des mines*, 5e série, t. II, p. 349.

(2) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XLVI, 1858, p. 765, 1858.

(3) L'apatite et la wagnerite ont été obtenus par une sorte de distillation des phosphates dans les chlorures des mêmes métaux. *Comptes rendus*, t. LXVII, p. 985, 1858.

(4) *Comptes rendus*, t. XLVI, p. 765, 1857. — L'alumine fondue en rubis obtenue précédemment par le même auteur était amorphe (*Comptes rendus de l'Académie*, t. V, p. 803, 1837.)

(5) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXXVII, p. 369, 1853.

usion mélange e sels ; procédé Manross, 1858.

En fondant certains mélanges de sels et traitant le résidu par l'eau, M. Manross a imité la baryte sulfatée, l'apatite, le wolfram et d'autres minéraux (1).

ction marin dans rmation minéraux udiée par hhammer, 1854.

Le sel marin employé seul comme fondant a suffi à M. Forchhammer pour produire de l'apatite cristallisée, même en opérant sur des roches qui ne renferment que des indices de phosphates (2). Si l'on réfléchit à l'énorme abondance du chlorure de sodium dans l'enveloppe liquide du globe, on ne peut guère douter que ce sel n'ait concouru à la cristallisation de certaines espèces, surtout à l'époque où l'eau n'était pas encore condensée en totalité.

M. Charles , en 1858.

M. Charles Deville a récemment fait des essais dans cette même direction, en chauffant de l'argile ou du grès quartzeux préalablement humectés de chlorure de sodium (3).

§ 4. *Expériences synthétiques à l'aide de vapeurs réagissant entre elles ou sur des corps fixes.*

imations éactions vapeur e elles.

Par une simple sublimation on peut imiter quelques espèces minérales, telles que l'arsenic, la galène et la sénarmontite (4). Mais c'est surtout en faisant réagir certaines vapeurs entre elles, comme dans les ateliers métallurgiques, que l'on peut arriver à des résultats variés.

---

(1) *Annalen der Chemie und Pharmacie*, t. LXXXII, p. 348, 1852.

(2) *Poggendorff's Annalen*, t. LXXXI, p. 568, 1854.

M. Forchhammer a même proposé ce moyen pour reconnaître dans les roches les phosphates et certains métaux, lorsqu'ils ne s'y trouvent que par traces insensibles aux procédés ordinaires d'analyse.

(3) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XLVII, p. 80, 1858.

(4) Je rappellerai aussi le soufre en octaèdres droits obtenu par la condensation très-lente de sa vapeur à une température basse. *Annales des mines*, 5e série, t. I.

C'est ainsi qu'on obtient le peroxyde de fer, cristallisé comme le fer oligiste de la nature, en décomposant à chaud le perchlorure de fer par la vapeur d'eau, ainsi que l'a fait Gay-Lussac. Cette réaction se produit parfois, comme l'a reconnu M. Mitscherlich, dans les fours de potiers dans lesquels on projette du chlorure de sodium (1). Formation du oligiste obse par Gay-Lus et M. Mitscherli

J'ai essayé, en 1849, une réaction fondée sur le même principe, pour vérifier expérimentalement l'origine que j'avais antérieurement attribuée aux amas de minerais d'étain, d'après des observations purement géologiques. Par la décomposition des bichlorures d'étain et de titane, j'ai obtenu l'oxyde d'étain cristallisé avec l'éclat et la dureté de celui de la nature, mais isomorphe avec le titane oxydé connu sous le nom de brookite : j'ai d'ailleurs produit cette dernière espèce minérale elle-même (2). Productio de l'oxyde d'é et de titan par M. Daubr 1849.

En amenant l'hydrogène sulfuré sur diverses chlorures métalliques réduits à l'état de vapeur, M. Durocher a obtenu quelques-uns des principaux sulfures contenus dans les filons, tels que le cuivre gris (3). Productio de sulfure par réactio de chloru en vapeur et de l'hydrog sulfuré. M. Duroche 1851.

Au lieu de faire agir les vapeurs les unes sur les autres, on peut s'en servir pour attaquer des substances fixes et y développer des combinaisons nouvelles.

---

(1) *Poggendorff's Annalen*, t. XV, p. 630. — M. Nöggerath l'a aussi signalé comme produit d'un incendie dans la mine de sel de Wieliczka. Les fours où l'on fabriquait le carbonate de soude à Framont Vosges) en décomposant le chlorure de sodium par la pyrite de fer ont produit de magnifiques enduits de fer oligiste cristallisé à la surface des briques.

(2) Recherches sur la production artificielle de quelques espèces minérales cristallines, particulièrement de l'oxyde d'étain, de l'oxyde de titane et du quartz. Observations sur l'origine des filons titanifères des Alpes. *Annales des mines*, 4e série, t. XVI, 1849.

(3) *Comptes rendus*, t. XXXII, p. 823.

…emière imitation de l'apatite, de la topaze et d'autres minéraux …r M. Daubrée, 1851.

C'est d'après ce principe que j'ai le premier obtenu artificiellement l'apatite, ainsi que la topaze (1). Plus tard, j'ai produit, au moyen des chlorures de silicium et d'aluminium des silicates et des aluminates cristallisés (2). J'ai également imité l'oxyde rouge de manganèse ou hausmannite (3).

Autres expériences: …l'action du gaz …e de vapeurs …r les roches.

On doit encore mentionner ici la production de la dolomie par M. Durocher, sous l'action de vapeurs chlorurées et magnésiennes sur du calcaire (4) ; les expériences de M. Charles Deville sur l'altération des roches silicatées par l'hydrogène sulfuré et l'eau (5), ainsi que celles de MM. Rogers sur la manière dont l'eau chargée d'acide carbonique décompose, même à froid, les principaux silicates naturels.

…a vapeur d'eau …une très-haute température attaque les silicates.

On avait remarqué qu'il suffit de la vapeur d'eau, si elle est douée d'une haute température, pour attaquer de nombreux silicates (6). Ainsi des briques chauffées à la température de la fusion de la fonte abandonnent, d'après M. Jeffreys, à un courant de vapeur d'eau, de la silice qui va se condenser sous forme neigeuse (7). C'est encore par une action du même genre que l'eau corrode les émaux dans les fours à porcelaine (8).

---

(1) *Annales des mines*, 4e série, t. XIX, 1851, p. 669.

(2) *Comptes rendus*, t. XXXIX, 1854, p. 135.

(3) *Annales des mines*, 5e série, t. I, 1852.

(4) *Comptes rendus*, t. XXXIII, 1851, p. 64.

(5) *Comptes rendus*, t. XXXV, 1852, p. 261.

(6) D'après Turner, le verre se recouvre d'une croûte de silice opaque ne renfermant plus d'alcali, et ayant quelquefois une disposition stalactiforme. *Annales des mines*, 3e série, t. VII, 1835, p. 448.

(7) Jeffreys. Report of the british association, 1840. *Bibliothèque britannique*, t. VIII, p 441.

(8) M. Alexandre Brongniart et M. Regnault ont constaté ce fait à Sèvres.

§ 5. *Voie humide.*

Actions lent utilisées par M. Becqu pour produ des combinais insolubles, et

L'action de la vapeur d'eau sur les chlorures et sur les silicates qui vient d'être signalée, est comme un intermédiaire entre la voie sèche et la voie humide. Il nous reste à résumer les résultats de cette dernière.

M. Becquerel a depuis longtemps, montré l'influence des actions lentes, aidées d'une électricité à très-faible tension, pour précipiter des combinaisons insolubles qui imitent celles de la nature (1).

Productio de l'hydroph par Ebelmen

C'est aussi par la décomposition lente de l'éther silicique, qu'Ébelmen a produit la silice hydratée en masses solides voisines semblables à l'hyalite et à l'hydrophane (2).

Autres expériences la pression ordinaire : Gustave Ros Bischof, Hu Charles Devil Kuhlmann Delesse.

M. Gustave Rose a habilement analysé les conditions de la précipitation du carbonate de chaux à l'état d'arragonite. MM. Bischof et Sterry Hunt ont fait diverses expériences, le premier pour contrôler ses idées sur la formation des minéraux, le second à l'appui de sa manière de considérer l'origine des roches magnésiennes (3). M. Charles Deville a étudié comment l'eau avec le seul aide de l'acide carbonique, et sans le secours de la pression peut concourir à la formation des dolomies (4). Des réactions qui se produisent dans la fabrication des chaux hydrauliques et des ciments, M. Kuhlmann a déduit des résultats qui intéressent la géologie (5). On peut encore mentionner ici l'examen

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XXXII, 1823, p. 244.
(2) *Annales des mines*, 4e série, t. VIII, p. 149. — *Comptes rendus*, t. XXI, p. 527. M. le docteur Gergens a également obtenu une sorte d'opale commune en décomposant très-lentement le silicate de potasse (verre soluble) par de l'acide carbonique en dissolution dans l'eau. *Leonhard's Jahrbuch*, p. 807, 1858.
(3) *Bibliothèque de Genève*, 1857, p. 268.
(4) *Comptes rendus*, t. XLVII, p. 90, 1858.
(5) *Comptes rendus*, t. XII, p. 852; t. XXXV, p. 739.

de l'action des alcalis sur les roches par M. Delesse (1).

Expériences sous pression.

C'est surtout à de hautes températures et sous pression que l'on parvient à imiter dans l'eau les substances minérales.

Transformation des végétaux en houille et en anthracite.

Hall (2) et M. Cagniard-Latour (3) avaient depuis longtemps reconnu, que les végétaux se comportent dans ces conditions d'une manière toute particulière. En soumettant du bois dans de l'eau à une température d'environ 300 degrés, j'ai produit une véritable anthracite (4). A une température moins élevée, M. Baroulier a obtenu au moyen de végétaux renfermés dans de l'argile humide une imitation de houille (5).

Expériences sur la production de la dolomie; MM. Haidinger, Morlot, Favre et Marignac.

La belle expérience de M. Haidinger et de M. Morlot sur la formation de la dolomie, a inauguré pour la formation des minéraux l'emploi de l'eau sous pression (6). Au lieu de former la dolomie en faisant réagir le sulfate de magnésie sur le carbonate de chaux, MM. Favre et Marignac se sont plus tard servi, pour arriver au même résultat, de chlorure de magnésium (7).

Formation des minéraux des gîtes métallifères concrétionnés par M. de Senarmont, 1849 à 1851.

M. de Sénarmont a entrepris une longue série d'expériences qui ont jeté une vive lumière sur des phénomènes très-importants (8). En opérant à l'aide de l'eau

(1) *Bulletin de la société géologique*, 2e série, t. XI, p. 127.
(2) Hall obtenait une sorte de houille par la voie sèche.
(3) *Comptes rendus de l'Académie*, t. XXXII, p. 275, 1857.
(4) *Annales des mines*, 5e série, t. XII, p. 305, 1857.
(5) *Comptes rendus*, t. XLVI, p. 376, 1858.
(6) Von Morlot. Ueber Dolomit und seine kunstliche Darstellung aus Kalkstein. *Mémoires de l'Académie de Vienne*, t. I, p. 305, 1847.
(7) *Bibliothèque de Genève*. Mai 1849.
(8) Expériences sur la formation artificielle par voie humide de quelques espèces minérales qui ont pu se former dans les sources thermales sous l'action combinée de la chaleur et de la pression. *Annales de chimie et de physique*, t. XXVIII, 1849, p. 693. — Expériences sur la formation des minéraux par voie humide dans les gîtes métallifères concrétionnés. Même recueil, t. XXXII, 1851.

à des températures de 130 à 300 degrés, il est parvenu à produire à l'état cristallisé, les principaux minéraux qui caractérisent les filons métallifères, entre autres le quartz (1), le fer spathique, les carbonates de manganèse et de zinc, la baryte sulfatée, l'antimoine sulfuré, le mispikel, l'argent rouge. Pour comprendre aujourd'hui toute l'importance du problème qui a été ainsi résolu par ce savant, il faut se rappeler que jusqu'alors on n'avait pu imiter la plupart des minéraux des filons. Or les espèces les plus caractéristiques de ces gisements, au nombre de plus de trente, se trouvaient reproduites par un même procédé conforme à celui que faisait supposer l'observation, et à l'aide des éléments les plus répandus dans les sources thermales.. Ce mémorable travail a, pour la première fois, montré en géologie comment une induction relative à tout un ordre de faits peut être démontrée par la synthèse expérimentale.

M. de Sénarmont a également montré que la seule action de l'eau peut, avec l'aide d'une température élevée, isoler les bases de certains sels. C'est ainsi que l'oxyde de fer anhydre et l'alumine cristallisée ou corindon ont été produits par la décomposition de dissolutions de chlorure de fer et du chlorure d'aluminium. La brochantite (sous sulfate de cuivre) et l'azurite ont été récemment obtenues par le même procédé.

Production des silicates anhyd par la voie humid par M. Daubré 1857.

Jusqu'alors la voie humide n'avait encore pu produire de silicates anhydres; je suis arrivé à ce résultat dans une série d'expériences dont je donnerai dans la troisième partie les principaux résultats (2).

(1) M. Schafhaütl a annoncé avoir obtenu de la silice cristallisée dans la marmite de Papin. *Anzeigen*, 1845, p. 557.

(2) Observations sur le métamorphisme et recherches expérimentales sur quelques-uns des agents qui ont pu le produire. *Annales des mines*, 5e série, t. XII, 1857, p. 289. — *Bulletin de la société géologique de France*, 2e série, t. XV, p. 97.

a formation es minéraux des filons t des roches étamorphiques opère la nature n'est pas rarement visible.

Au reste la nature fait elle-même encore chaque jour des expériences, si l'on peut dire, du genre de celles que nous n'exécutons qu'avec tant de difficultés; elle emploie probablement des procédés analogues à ceux dont elle s'est servi depuis les temps les plus reculés. Malheureusement ces réactions se passent dans des régions où nous ne pouvons atteindre que bien rarement. Ce n'est que dans un petit nombre de cas qu'on peut être témoin de la formation de ces minéraux contemporains. Il a suffi de descendre de quelques mètres sous le sol de Plombières et d'entrer dans des masses imbibées depuis des siècles d'eau thermale, pour y découvrir le cuivre sulfuré en cristaux identiques à ceux de Cornouailles, et toute une série de zéolithes disposée, comme dans les roches basaltiques (1), que serait-ce si l'on pouvait pénétrer plus profondément dans les canaux par lesquels s'élèvent les sources thermales?

Quand on arrive à surprendre ainsi la nature, après le premier plaisir de lui ravir un de ses secrets, on éprouve un sentiment d'humilité en voyant au prix de quelles difficultés nous arrivons à reproduire quelques-unes des plus simples formations minéralogiques. Cependant les résultats déjà acquis montrent qu'il n'y a pas lieu de se décourager, et que l'on peut imiter bien des minéraux sans l'intervention des siècles.

---

(1) Mémoire sur la relation des sources thermales de Plombières avec les filons métallifères et sur la formation contemporaine des zéolithes. *Annales des mines*, 5e série, t. XIII, p. 227.

La formation de la pyrite de fer qui est un minéral si répandu n'a été vue qu'assez rarement, d'abord par M. Longchamp à Chaudesaigues. M. Bischof l'a également rencontrée à Brohl et M. Bunsen en Islande.

MÉMOIRE

SUR LES FORMES CRISTALLINES ET LES PROPRIÉTÉS OPTIQUES DE LA ZOÏSITE, DE LA SILLIMANITE ET DE LA WÖHLÉRITE, ET NOTE SUR UNE NOUVELLE DISPOSITION DU MICROSCOPE POLARISANT.

Par M. DESCLOIZEAUX.

ZOÏSITE.

M. Brooke a, le premier, signalé entre les cristaux de *zoïsite* et ceux d'*épidote* des différences qui lui paraissaient incompatibles avec l'admission d'un même type cristallin. Dans la minéralogie de Brooke et Miller, la zoïsite est indiquée comme offrant un prisme vertical de 116°16' avec un biseau obtus placé sur l'arête antérieure, un seul clivage très-facile parallèle à la petite diagonale de la base et un sommet composé de deux couples de faces appartenant à la même zone, mais dont la position est incomplétement déterminée, faute d'un nombre suffisant de mesures directes. Les cristaux sont toujours allongés dans une direction parallèle à l'arête verticale du prisme de 116°16'; ce prisme, terminé par une base *rhombe* oblique à l'axe principal, est la forme primitive adoptée par M. Miller.

Aucun autre minéralogiste ne paraît s'être rangé à l'opinion de MM. Brooke et Miller, et M. Rammelsberg, qui a fait un grand nombre d'analyses de zoïsite, conclut de leurs résultats que ce minéral peut être regardé comme une épidote dont la plus grande partie de l'oxyde de fer serait remplacée par de la chaux; pour expliquer les différences signalées entre les formes des deux substances, cet habile chimiste suppose que la zoïsite offre le développement de zones qui n'ont pas encore

été observées dans les cristaux d'épidote connus jusqu'ici.

La comparaison des propriétés optiques biréfringentes de la zoïsite et de l'épidote ne confirme nullement cette hypothèse, et elle annonce au contraire, entre leurs systèmes cristallins, une incompatibilité encore plus réelle que ne l'avait cru M. Brooke. En effet, si l'on fait dans un cristal de zoïsite une coupe transversale, perpendiculaire au clivage facile et à l'arête verticale du prisme de 116°16', on obtient la forme représentée Pl. III, *fig.* 1.

Les faces m h^2 et g^1 sont seules citées dans le *Traité de minéralogie* de Brooke et Miller; j'ai trouvé les nouvelles modifications h^1, h^3, g^2, $g^{5/3}$ sur des échantillons d'un blanc grisâtre du Tyrol et la modification h^4 sur de jolis cristaux vert émeraude, de Salzbourg. Toutes ces modifications sont rarement bien miroitantes, et leurs incidences présentent des variations assez notables; voici la moyenne d'un grand nombre d'observations comparée avec les angles calculés.

	Angles calculés.	Angles mesurés.
mm	= 116° 16'	»
mh^1	= 148 8	147° 55'
* mg^1	= 121 52	121 40
h^1h^2	= 168 18	167 40
h^1h^3	= 162 44	162 20
h^3h^2	= 145 28	»
h^1g^1	= 90 0	90 0
h^2g^1	= 101 42	102 5
h^3g^1	= 107 16	107 13
h^4g^1	= 110 27	111 0
g^2g^1	= 151 48	152 0
$g^{5/3}g^1$	= 158 6	158 20

* Angle donné par M. Brooke.

Le plan des axes optiques est parallèle au clivage facile qui a lieu suivant g^1, et leur bissectrice *aiguë* est

rigoureusement *normale* à la modification h^1 ; cette bissectrice est positive. La double réfraction est faible, les axes sont moyennement écartés et leur dispersion est très-forte ; ces diverses circonstances jointes au fendillement des cristaux et à leur peu de transparence, quand ils ne sont pas réduits en lames très-minces, permettent rarement de voir d'une manière bien nette les lemniscates produites par le passage de la lumière polarisée ; cependant, en choisissant quelques plaques assez transparentes de $\frac{1}{2}$ à $\frac{3}{4}$ de millimètre d'épaisseur, et en les soumettant entre deux prismes de verre de 25° à 30°, au microscope polarisant, j'ai pu examiner successivement les deux systèmes d'anneaux et m'assurer ainsi qu'ils étaient parfaitement symétriques. Les couleurs qui bordent leurs hyperboles sont très-étalées, et elles offrent du rouge à *l'extérieur*, du bleu à *l'intérieur*, donc $\rho < v$. Il résulte de là que la zoïsite doit être rapportée au prisme rhomboïdal *droit*, et non au prisme rhomboïdal oblique. L'écartement des axes, difficile à mesurer bien exactement, à cause de la dilatation des hyperboles, a été trouvé approximativement :

	Zoïsite vitreuse, Bavière.	Z. assez transparente, Tyrol.	Z. vitreuse, Tyrol.	
$2E =$	42° à 44°	42° à 44°	48° à 50°	rouge.
	50 à 52	50 à 51	52 à 54	vert.
	65 à 70	» »	» »	violet.

On sait que les cristaux d'épidote présentent généralement deux clivages dont l'un, très-facile, et l'autre plus difficile, se coupent sous l'angle de 115°27' ; si l'on regarde le clivage facile comme la base de la forme primitive de ce minéral, et le clivage difficile comme une troncature verticale, parallèle à la diagonale horizontale de cette base, une section faite perpendiculairement à ces deux clivages offre une série de faces plus ou moins

nombreuses, suivant les échantillons que l'on a choisis ; les plus habituelles sont représentées par la *fig.* 2.

Les incidences sont :

ph^1	=	115° 27′
$pa^{3/2}$	=	134 15
$h^1a^{3/2}$	=	110 18
$pa^{4/3}$	=	129 6
pa^1	=	116 8
$pa^{2/3}$	=	99 33
$h^1a^{2/3}$	=	145 0
$pa^{1/2}$	=	90 25

Le plan des axes optiques est compris dans le plan de la section ; leur bissectrice *aiguë* est presque normale à la face $a^{1/2}$, et comme les faces p, $a^{1/2}$ sont à 90°25′ l'une de l'autre, leur bissectrice *obtuse* est presque normale à p ; les axes étant d'ailleurs très-écartés, lorsqu'on soumet au microscope d'Amici une lame mince obtenue à l'aide du clivage le plus facile, on aperçoit un système d'anneaux au bord du champ de l'instrument, tandis que l'autre système est rejeté de manière à être complétement invisible ; la compensation, dans ce sens, est *négative*, tandis qu'elle est *positive* pour les anneaux vus à travers une lame à peu près parallèle à $a^{1/2}$. D'après ce que j'ai dit plus haut sur la position et l'écartement des axes optiques dans la zoïsite, il est clair qu'une lame de cette substance, parallèle au clivage, ne peut rien offrir de semblable à ce qui se voit dans l'épidote ; on a donc là un moyen très-simple et très-facile de distinguer immédiatement les deux substances. Les cristaux de l'une ont dû, au contraire, être quelquefois confondus avec ceux de l'autre, à cause de l'égalité presque complète que présentent plusieurs de leurs incidences ; c'est probablement ce qui est arrivé pour une zoïsite grise de Falltiegel en Tyrol, dont la

forme, rapportée par M. Hermann à celle de l'épidote, offrirait les faces que j'ai notées p, h^1, $a^{3/2}$, a^1, tandis que sa composition la rapproche des véritables zoïsites; on a en effet :

Épidote.			Zoïsite.		
ph^1	=	115° 27′	mm	=	116° 16
pa^1	=	116 8			
$h^1a^{3/2}$	=	110 18	g^1h^4	=	110 27

Les échantillons de zoïsite que j'ai soumis à un examen optique et cristallographique, sont de petits cristaux gris cendré du Tyrol, des cristaux vert émeraude de Rauris en Salzbourg, et des fragments plus ou moins vitreux extraits de masses bacillaires provenant de Sterzing en Tyrol, de Goshen en Massachusets, de Bavière? et de Carinthie. Jamais je n'ai rencontré de faces terminales permettant de déterminer les dimensions de la forme primitive; mais cette détermination est possible en supposant que les faces w de M. Miller forment un octaèdre $b^{1/2}$ reposant symétriquement sur les faces verticales du prisme primitif de 116°16′; d'après l'incidence $b^{1/2}h^3 = 123°30′$ donnée par M. Brooke, on trouve $b:h::1000:311,336$ et $b^{1/2}b^{1/2}$ en avant = 144°57′. Des mesures inédites qui m'ont été tout récemment communiquées par M. Miller s'accordent bien avec ces nombres, et elles fournissent en même temps le moyen de calculer le symbole de la face z, située dans la zone $g^1b^{1/2}$; ce symbole est $z = (b^{1/5}b^{1/7}g^1)$; voici la comparaison des incidences calculées avec celles qui ont été observées par M. Miller :

		Calculé.	Observé.
g^1z	=	152° 10′	152° 8′
$g^1b^{1/2}$	=	107 31	106 41
$b^{1/2}m$ post.	=	75 28	75 35
$b^{1/2}h^3$ post.	=	68 5	68 52

Les analyses suivantes établissent nettement la com-

position de la zoïsite; les nos IV et V peuvent surtout être considérés comme se rapportant au type de l'espèce (1) :

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
Silice	40,95	41,51	41,18	40,98	[illegible]	43,52	43,74
Alumine	30,34	28,90	30,40	31,38	30,97	28,19	29,23
Oxyde ferrique	3,68	3,98	2,83	2,51	2,11	3,05	3,18
Chaux	21,56	24,78	24,87	24,46	24,65	23,60	22,31
Magnésie	»	0,58	0,25	0,50	0,24	1,26	0,59
Eau	0,56	99,75	[illegible]	99,83	98,79	99,82	K. 0,93
Acide carbonique	1,13						99,98
	98,22						
Perte au feu	»	2,09	2,08	2,25	»	3,67	3,18
Pesanteur spécifique	3,28	3,35	3,30	3,34	3,35	3,25	3,28

Le rapport entre les quantités d'oxygène de la silice et des bases $\dddot{R}$ et $\dot{R}$ est celui des nombres 3 : 2 : 1; on en tire la formule $\dot{C}a^3, \dddot{S}i + 2\dddot{A}l\dddot{S}i$ ou plus simplement $\dot{C}a^2, \dddot{A}l^2, \dddot{S}i^3$ semblable à la formule générale adoptée par M. Rammelsberg pour les épidotes.

Quelques variétés d'épidote ont une couleur d'un gris cendré presqu'aussi pâle que la zoïsite; cependant aucune ne paraît contenir moins de 10 p. 100 d'oxyde de fer, et la manière dont elles se comportent au chalumeau suffirait pour les faire reconnaître immédiatement. En effet, tandis que toutes les zoïsites que j'ai examinées fondent facilement avec un bouillonnement

(1) I, zoïsite grise de Falltiegel, Tyrol, par Hermann.
II, zoïsite de Saualpe avec quartz et grenat; Rammelsberg.
III, zoïsite du Fichtelgebirge, semblable au n° 2; Rammelsberg.
IV, zoïsite de Goshen, Massachusets; Rammelsberg.
V, zoïsite de Sterzing, Tyrol; Rammelsberg.
VI, zoïsite de Fuchsthal, Pinzgau, en masses fragiles dans le quartz; Rammelsberg.
VII, zoïsite de la vallée de Saas, mont Rose; masses vertes dans le quartz; Rammelsberg.

plus ou moins marqué en émail grisâtre, translucide, très-souvent mamelonné, les épidotes les plus pâles, comme celles qu'on trouve à Saualpe en cristaux isolés, et à Baduz, Grisons, en masses lamellaires accompagnées de grenat rouge, fondent avec bouillonnement en scorie ou en émail noir brunâtre ou brun noirâtre, non magnétique. La zoïsite de Goshen, comme certaines épidotes, communique à la flamme une coloration verte annonçant la présence d'une petite quantité d'acide borique.

Il résulte des observations précédentes que la zoïsite doit être considérée comme une espèce distincte de l'épidote et que la seule ressemblance offerte par ces deux minéraux consiste en ce qu'ils font partie d'un même groupe chimique représenté par la formule générale : $\dot{R}^3, \dddot{R}^2, \dddot{Si}^3$.

SILLIMANITE.

La *Sillimanite*, que les résultats un peu variables de ses anciennes analyses rapprochait de l'*andalousite* ou du *disthène*, avait d'abord été réunie à ce dernier minéral par M. Dana. Plus tard, ce savant minéralogiste, prenant en considération les remarques faites par M. G. Rose sur le peu de ressemblance extérieure des deux substances et sur la grande différence que présentent leurs densités, a regardé la Sillimanite comme une espèce particulière dont la forme dérivait, selon lui, du prisme oblique non symétrique. L'étude des propriétés optiques biréfringentes prouve que la Sillimanite constitue bien une espèce distincte, mais elle montre aussi que ses cristaux appartiennent au système du prisme rhomboïdal droit. En effet, on sait que ces cristaux offrent un clivage très-net et très-facile dans une seule direction parallèle aux cannelures

longitudinales qu'ils portent ordinairement; or si l'on taille une lame mince perpendiculaire aux cannelures et au clivage, on y observe, dans la lumière polarisée, deux systèmes d'anneaux parfaitement symétriques, qui annoncent deux axes peu écartés, dans un plan parallèle au clivage, avec une bissectrice *positive* parallèle aux cannelures verticales; leur dispersion est très-forte, car j'ai trouvé :

2E =	44°	rouge.
	42° à 43°	vert.
	37° à 38°	violet.

La substance est fortement réfringente, et sa double réfraction est très-énergique : un prisme de 42°54', ayant son arête perpendiculaire au plan des axes, m'a donné une déviation minimum de 31°53' et un indice moyen $\beta = 1,660$ pour le centre des rayons rouges.

Lorsqu'on cherche à mesurer l'inclinaison des faces verticales sur le clivage, on voit que cette inclinaison, plus constante que ne l'a supposé M. Dana, annonce l'existence de deux prismes différents; seulement, comme ces prismes n'ont pas toujours leurs faces symétriquement développées à droite et à gauche du clivage, ce défaut de symétrie conduit quelquefois aux incidences voisines de 98° et de 110° citées par M. Dana. J'ai en effet obtenu sur plusieurs échantillons :

	Calculé.	Observé.	
mm =	111°	»	
mh^1 =	145° 30'	145° 30'	
g^5h^1 =	134° 7'	134° 10'	
g^5g^5 =	88° 15'	89° 0'	en avant.
g^5g^5 =	91° 45'	»	de côté.
mg^5 =	99° 37' sur m	99° 30'	

h^1 est la face de clivage facile.

Le prisme g^5 de 88°15' et 91°45' est assez voisin du prisme de 90°44', suivant les faces duquel se font les clivages les plus faciles de l'andalousite; mais là se

borne la ressemblance cristallographique des deux minéraux; car le clivage de la Sillimanite, parallèle à la petite diagonale du prisme g^{1}, n'a pas son correspondant dans l'andalousite; quant à leurs axes optiques, on peut les regarder comme situés dans un même plan, avec cette différence que la bissectrice *aiguë*, *positive*, de la Sillimanite étant verticale, la bissectrice correspondante de l'andalousite est horizontale. Examinées à la loupe dichroscopique, les lames de Sillimanite à travers lesquelles se voient les anneaux ne présentent aucune différence de couleur; les lames parallèles au clivage offrent seules un léger dichroïsme, l'une des images étant incolore et l'autre faiblement rosée.

C'est à la Sillimanite que doivent être rapportées les substances connues sous les noms de *fibrolite*, *Bucholzite*, *xénolite*, *Wörthite*, *bamlite* et *monrolite*; car toutes cristallisent en prisme rhomboïdal droit.

En effet, 1° la *monrolite* de Monroë, qui se présente en cristaux bacillaires verdâtres, offre, comme la Sillimanite, un clivage facile, brillant, parallèle aux cannelures longitudinales des cristaux; dans une lame perpendiculaire à ces cannelures, on voit, parallèlement au clivage, deux systèmes d'anneaux dont la bissectrice est verticale et positive; leur écartement est égal à 42° pour le rouge et à 38° pour le vert : il y a donc identité de caractères physiques entre la monrolite et la Sillimanite.

2° La *Bucholzite* en masses fibreuses à éclat soyeux, de Chester, Pennsylvanie, possède les mêmes propriétés optiques biréfringentes; les axes paraissent seulement un peu plus rapprochés que dans la Sillimanite et la monrolite; le clivage est moins facile à obtenir, et perpendiculairement aux fibres, la dureté est encore plus grande que dans ces deux substances.

3° La *bamlite* de Norwége manifeste les mêmes phénomènes optiques que la Sillimanite, la monrolite et la Bucholzite; l'écartement de ses axes est approximativement :

$$2E = 37°\,35' \text{ rouge.}$$
$$\;33\;\;50 \text{ vert.}$$
$$\;28\;\;20 \text{ violet.}$$

4° La *xénolite* et la *Wörthite* des environs de Saint-Pétersbourg se trouvent en aiguilles trop fines pour pouvoir être taillées normalement à leur longueur; mais elles présentent, dans une direction longitudinale, un clivage facile qui permet d'obtenir de petites lames très-minces parallèles au plan des axes optiques. La compensation *négative* qu'une plaque de quartz légèrement prismatique produit à travers ces lames, comme à travers une lame semblable de Sillimanite, fait voir deux systèmes d'hyperboles colorées, parfaitement symétriques, dont l'axe est parallèle aux cannelures verticales, ce qui annonce des cristaux appartenant au prisme rhomboïdal droit.

Des diverses analyses connues jusqu'ici pour l'andalousite, la Sillimanite, la Bucholzite, la fibrolite, etc., les unes indiquent la composition du *disthène* et la formule $\dddot{Al}^3 \dddot{Si}^2$; les autres s'accordent avec la formule $\dddot{Al}^4 \dddot{Si}^3$. En supposant que tous les chimistes ont opéré sur des matières également pures, ces divergences tiennent probablement à la méthode employée pour l'analyse.

Afin de lever les doutes relatifs à la Sillimanite, M. Damour a repris son analyse avec le plus grand soin par la méthode de M. H. Deville, et il est arrivé au résultat suivant :

		Oxygène.	Rapport.
Silice.	39,06	20,28	3
Alumine.	59,53	27,83	4
Oxyde ferreux. . . .	1,42		
Oxyde manganeux.	0,28		
	100,29		

On voit que ces nombres correspondent suffisamment à la formule $\dddot{Al}^4\dddot{Si}^3$ qui résulte, pour la *Bucholzite*, de l'analyse de M. Erdmann, et que par conséquent la Sillimanite se distingue du *disthène*, aussi bien par sa composition que par ses propriétés optiques et cristallographiques.

WÖHLÉRITE.

Il y a quelques années (1), j'ai décrit les cristaux de *Wöhlérite* comme ayant habituellement la forme de tables rectangulaires dont les principales modifications, situées dans deux zones perpendiculaires l'une à l'autre, pouvaient se dériver par des lois fort simples d'un prisme rhomboïdal droit de 108° 56'. M. Dauber (2) a publié des mesures d'angles obtenues sur un beau cristal qu'il avait eu à sa disposition, et il a été conduit, par la symétrie apparente de ce cristal, à adopter le même type cristallin.

La rareté de la *Wöhlérite*, à l'époque où j'ai publié mon travail, ne m'avait pas permis d'étudier ses propriétés optiques, et je m'étais contenté de dire qu'elle paraissait jouir de la double réfraction à deux axes. Ayant pu depuis peu reprendre cette étude sur plusieurs échantillons isolés, je suis arrivé à des résultats tout à fait inattendus, d'où il faut conclure, au moins en ce qui regarde les cristaux incomplets ou imparfaits offrant une forme limite, que l'optique doit venir en aide à la cristallographie pour orienter convenablement ces cristaux.

Voici, en effet, ce que l'on observe : si l'on taille une lame mince parallèle à la face la plus large des cristaux tabulaires de Wöhlérite, face que j'avais prise pour

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XL, 3e série.
(2) *Annales de Poggendorff*, t. XCII.

base de ma forme primitive et désignée par p, et si on la soumet au microscope polarisant, on n'y voit qu'une portion de lemniscate fortement inclinée sur le plan de la lame : il en est absolument de même pour une plaque taillée dans la direction de la face g^1, parallèle à la petite diagonale de mon prisme de 108° 56′ ; si l'on place l'une ou l'autre de ces lames entre deux prismes de verre de 45°, de manière à ce que l'arête d'intersection $\frac{p}{g^1}$ soit parallèle à l'arête réfringente des prismes, les lemniscates qui se manifestent dans la lumière polarisée sont parfaitement centrées, et elles font voir deux systèmes d'anneaux écartés, s'ouvrant dans un plan parallèle à l'arête $\frac{p}{g^1}$

Si maintenant on prend une lame mince dans la direction de la face h^1, parallèle à la grande diagonale de ma forme primitive, on y voit immédiatement deux systèmes d'anneaux très-écartés, dans un plan perpendiculaire à celui de la lame, et faisant avec les faces p et g^1 des angles d'environ 45°. Il suit de là que les deux faces que j'avais notées autrefois p et g^1 sont en réalité de la même espèce et qu'elles constituent les faces verticales d'un prisme rhomboïdal droit très-voisin de 90° dont mon ancienne face h^1 forme la base : j'avais déjà cité un clivage assez facile suivant la face g^1 ; j'ai reconnu depuis l'existence d'un second clivage suivant l'ancienne face p. Afin de déterminer aussi complétement que possible les propriétés optiques biréfringentes de la Wöhlérite, j'ai taillé sur l'arête $\frac{p}{g^1}$ d'un cristal qui présentait les modifications p, $a^{11/4}$ $a^{11/8}$, $a^{11/6}$ une facette faisant des angles égaux avec les faces p et g^1 ; le cristal suffisamment aminci dans cette direction, m'a montré deux systèmes d'axes, dont le

plan est parallèle à l'arête $\frac{p}{g^1}$ et dont la bissectrice, *négative*, est normale à cette arête. La double réfraction n'est pas très-énergique et la dispersion des axes est assez forte. J'ai trouvé pour leur écartement apparent, à l'aide du goniomètre installé sur le micoscrope (1) :

$2E =$	138° environ;	rouge.
	142° à 143° environ;	vert.
	140° environ;	lumière blanche.

La plaque qui a fourni ces mesures, étant placée entre deux prismes de verre de 45° montre successivement chacun de ses systèmes d'anneaux situé au centre du champ du microscope. Si l'on soumet à la même épreuve une plaque parallèle à mon ancienne modification h^1, on trouve que pour centrer les anneaux il faut employer des prismes d'au moins 67°; les axes sont donc beaucoup plus écartés dans cette seconde plaque que dans lá première, et leur bissectrice, *positive*, est bien la bissectrice obtuse.

Pour savoir si le plan des axes optiques coïncide avec la petite ou avec la grande diagonale de la base de la nouvelle forme primitive, j'ai cherché à mesurer, dans la lumière parallèle, l'angle que ce plan fait avec l'arête $\frac{p}{h^1}$; la moyenne d'un grand nombre d'observations m'a donné pour cet angle, 45° 4' *à* 45° 10', et je suis porté à en conclure que le plan des axes est parallèle à la petite diagonale; cependant je ne puis l'affirmer d'une manière absolue, car les lames que j'ai pu employer à ces déterminations ne sont pas très-grandes, et par suite je n'ai eu comme ligne de repère, qu'une longueur assez petite de l'arête $\frac{p}{h^1}$.

(1) Voir la note placée à la fin du mémoire.

Cette nouvelle manière de considérer la forme primitive de la Wöhlérite conduit à regarder comme hémimorphes ou hémièdres une grande partie des formes que j'ai décrites, et celles qui ont été observées par M. Dauber : malheureusement aucun des cristaux que j'ai vus jusqu'à présent n'est assez complet pour permettre de décider si l'hémiédrie est bien régulière ; mais on peut espérer qu'un jour ou l'autre de nouveaux échantillons nous fourniront la solution de cette question.

En attendant je supposerai l'existence de toutes les faces que nous avons figurées, M. Dauber et moi, avec la symétrie qu'elles semblaient présenter, et je vais donner la correspondance de nos anciens symboles avec les nouveaux, ainsi que les angles qui résultent du calcul de ces symboles rapportés à un prisme rhomboïdal droit de 90° 16′.

Les croquis (*fig.* 3, 4, 5, 6, 7 et 8) représentent, au naturel, une partie des cristaux qui ont servi à mes observations. La *fig.* 3 se rapporte au cristal tabulaire à deux zones rectangulaires qui a été représenté dans mon mémoire de 1854. Comme les incidences ne peuvent pas se mesurer avec une parfaite exactitude et que ces incidences sont très-voisines pour les faces des deux zones, aucune raison géométrique ne s'oppose à ce qu'on redresse le cristal en considérant comme verticales les faces que j'ai placées horizontalement et réciproquement; la position du plan des axes optiques nous fournirait seule des indices certains à cet égard. La *fig.* 4, représente un cristal qui a été clivé parallèlement à la face *m* de gauche : l'angle des deux faces *m* visibles sur la figure, ayant toujours été trouvé un peu plus grand que 90°, la face $\chi = (b^{1/2} b^{1/3} g^1)$ doit être regardée comme placée sur les angles latéraux de la forme primitive : quant aux faces e_2 et a_2 dont

l'une est située sur les angles aigus et l'autre sur les angles obtus de la base, elles existent certainement toutes deux : les faces b^1 paraissent, comme toujours, hémièdres.

Le cristal *fig.* 5 offre encore les deux modifications a_2 et e_2 ; la face $k = (b^{1/2} b^{1/3} h^1)$ qui occupe sur l'angle antérieur de la forme primitive, une position semblable à celle que χ occupe sur les angles latéraux, n'a pas une existence parfaitement assurée, car la plupart des incidences mesurées sur ce cristal s'accordent presque aussi bien avec la supposition d'une face χ qu'avec celle d'une face k; il est donc possible qu'il n'existe qu'une seule des formes k ou χ et que cette forme soit hémièdre.

Le cristal *fig.* 6 est un de ceux qu'il est le plus facile d'orienter ; la face nouvelle e_4 située sur les angles latéraux de la forme primitive, n'avait pas encore été observée jusqu'ici ; j'ignore si, comme e_2 elle a sa correspondante a_4 sur les angles antérieur et postérieur.

Le cristal *fig.* 7 où la face marquée h^1 paraît bien réellement être la troncature parallèle à la grande diagonale de la base du prisme primitif porte la modification assez rare φ, que j'ai observée sur un autre cristal appartenant à l'École des Mines, et qui est située sur les angles latéraux de la forme primitive : les incidences qui en ont été prises ne permettent pas d'assurer s'il existe ou s'il n'existe pas une face correspondante v, sur les angles obtus de cette forme, mais, comme on le verra dans le tableau suivant, elles conduisent plutôt au symbole assez compliqué $\varphi = (b^{1/8} b^{1/22} g^{1/11})$ qu'au symbole simple $\varphi = (b^{1/2} b^{1/6} g^{1/3})$.

Enfin la *fig.* 8 est la projection du cristal observé et mesuré par M. Dauber, telle qu'elle a été publiée

dans les *annales de Poggendorff*, tome 92 ; je lui ai laissé exprès la même position qu'elle a dans ce mémoire ; seulement, j'y ai ajouté les faces $h^{7/4}$, $g^{7/4}$ φ et v et j'ai substitué aux anciens symboles, ceux qui se rapportent au nouveau type que j'ai adopté :

Anciens symboles.		*Nouveaux symboles.*
DESCLOIZEAUX.	DAUBER.	DESCLOIZEAUX.
p......	$a = a : \infty b : \infty c$	m.
g^1.....	$b = \infty a : b : \infty c$	m.
e^2......	$m = a : b : \infty c$	h^1 et g^1, homoèdres.
$e^{2/3}$......	$h = 3a : b : \infty c$	h^3 et g^3, hémièdres.
e^4......	$n = \frac{1}{2}a : b : \infty c$	h^2 et g^2, homoèdres.
e^1......	$g = 2a : b : \infty c$	
$e^{3/7}$......	....	$h^{7/4}$ et $g^{7/4}$, hémièdres.
h^1.....	....	p.
$x = (b^1 b^{1/3} h^{1/2})$.	$x = a : b : c$	a^1 et e^1, homoèdres.
a^1.....	$k = a : \infty b : c$	b^1, hémièdre.
$a^{11/8}$....	....	$b^{7/10}$, hémièdre.
$a^{11/4}$....	....	$b^{7/20}$, hémièdre.
a^3.....	$d = \frac{1}{3}a : \infty b : c$	$b^{1/3}$, hémièdre.
$a^{11/2}$....	....	$b^{2/11}$, hémièdre.
a^{10}.....	....	$b^{1/10}$, hémièdre.
$b^{3/2}$.....	$p = \frac{1}{3}a : \frac{1}{2}b : c$	$k = (b^{1/2} b^{1/3} h^1)$ et $\chi = (b^{1/2} b^{1/3} g^1)$, hém.
$e_{1/3} = (b^1 b^{1/3} g^{1/3})$.	$i = \frac{1}{3}a : \frac{1}{4}b : c$	$s = (b^{1/2} b^{1/4} h^1)$ et $\sigma = (b^{1/3} b^{1/4} g^1)$, hém.
$b^{1/2}$.....	$o = a : \frac{1}{2}b : c$	$a_2 = (b^1 b^{1/2} h^1)$ et $e_2 = (b^1 b^{1/2} g^1)$, hém.
$b^{4/11}$....	....	$v = (b^{1/8} b^{1/22} h^{1/11})$ et $\varphi = (b^{1/8} b^{1/22} g^{1/11})$ ou $v = (b^{1/2} b^{1/6} h^{1/3})$ et $\varphi = (b^{1/2} b^{1/6} g^{1/3})$, hém.
......	....	$a_4 = (b^1 b^{1/4} h^1)$ et $e_4 = (b^1 b^{1/4} g^1)$, hém.

	Angles calculés.	*Angles mesurés.*	
* mm	= 90° 16′ moyenne..	91° à 90°	Descloizeaux.
mh^1	= 135 8	135 6′	Dauber.
mg^1	= 134 52	134 50	Dauber.
mh^3	= 161 35 adjacent. .	»	»
mh^3	= 108 40 sur h^1. . .	108 à 109	Descloizeaux.
mh^2	= 153 29 adjacent. .	153 30 moy.	Dauber.
mh^2	= 116 47 sur h^1. . .	116 51 Dauber. 116	Descl.
$mh^{7/4}$	= 150 19 adjacent. .	»	»
$mh^{7/4}$	= 119 57 sur h^1. . .	119 à 120	Descloizeaux.
mg^3	= 161 32 adjacent. .	»	»
mg^3	= 108 12 sur g^1. . .	107 39	Dauber.
mg^2	= 153 23 adjacent. .	152 55	Dauber.
mg^2	= 116 21 sur g^1. . .	116 14	Dauber.
$mg^{7/4}$	= 150 11	»	»
$mg^{7/4}$	= 119 33 sur g^1. . .	»	»
pa^1	= 153 17	»	»
ph^1	= 90	»	»
pe^1	= 153 23	»	»
pg^1	= 90	»	»
pb^1	= 160 27	160 25	Descloizeaux.
* b^1m	= 109 33	109 33	Dauber.
		109 10 à 110	Descloizeaux.
pb^1	= 70 27 sur m. . .	70 à 71	Descloizeaux.
b^1b^1	= 140 54 sur m. . .	140 15	Dauber.
$pb^{7/10}$	= 153 6	»	»
$b^{7/10}m$	= 116 54	116 35 à 117	Descloizeaux.
$pb^{7/20}$	= 134 35	»	»
$b^{7/20}m$	= 135 25	135 » à 135 30	Descloiz.
$pb^{1/3}$	= 133 11	»	»
$b^{1/3}m$	= 136 49	138 » à 138 35	Dauber.
$pb^{2/11}$	= 117 7	»	»
$b^{2/11}m$	= 152 53	153 25	Descloizeaux.
$b^{7/10}b^{2/11}$	= 144 1	143 15	Descloizeaux.
$pb^{1/10}$	= 105 44	»	»
$b^{1/10}m$	= 164 16	164 15	Descloizeaux.
pm	= 90	90 »	Descloizeaux.
pk	= 127 56	»	»
ps	= 119 24	»	»

Angles calculés.			Angles mesurés.	
pa_2	= 141°30′	. . . . . .	»	»
ph^2	= 90 »	. . . . . .	»	»
a_2h^2	= 128 30	. . . . . .	128°30′	Descloizeaux.
pv	= 142 53	. . . . . .	»	»
	ou			
pv	= 143 9	. . . . . .	»	»
ph^2	= 99 »	. . . . . .	»	»
pa_4	= 123 55	. . . . . .	»	»
$p\chi$	= 128 3	. . . . . .	»	»
$p\sigma$	= 119 27	. . . . . .	»	»
pe_2	= 141 36	. . . . . .	»	»
pg^2	= 90 »	. . . . . .	»	»
e_2g^2	= 128 24	. . . . . .	»	»
$p\varphi$	= 142 58	. . . . . .	»	»
	ou			
$p\varphi$	= 143 13	. . . . . .	»	»
pg^3	= 90 »	. . . . . .	»	»
pe_4	= 124 11	. . . . . .	»	»
$h^1b^{2/11}$	= 129 7	. . . . . .	130 0	Descloizeaux.
h^1b^1	= 103 43	. . . . . .	»	»
b^1k	= 143 3	. . . . . .	143 » à 143 30	Descloiz.
b^1a_2	= 130 4	sur p. . .	129 15 à 129 30	Descloiz.
$g^1b^{2/11}$	= 128 54	. . . . . .	»	»
g^1b^1	= 103 39	. . . . . .	»	»
$b^1\chi$	= 142 57	. . . . . .	142 10	Descloizeaux.
b^1e_2	= 130 16	sur p. . .	129 50 env.	Descloizeaux.
ms	= 134 11	adjacent. .	»	»
mk	= 116 5	opp. . . .	»	»
$mb^{1/3}$	= 90 11	latéral. . .	»	»
$sb^{1/3}$	= 136 0	. . . . . .	»	»
$kb^{1/3}$	= 154 6	. . . . . .	»	»
$m\sigma$	= 134 5	adjacent. .	»	»
$m\chi$	= 115 46	opp. . . .	»	»
$mb^{1/3}$	= 89 49	latéral. . .	»	»
$\sigma b^{1/3}$	= 135 44	. . . . . .	»	»
$\gamma b^{1/3}$	= 154 3	. . . . . .	»	»

	Angles calculés.	*Angles mesurés.*	
ma_4	= 143° 40′ adjacent .	»	»
ma_2	= 123 51 adjacent .	123° 25′	Descloizeaux,
		124 5 moy.	Dauber.
ma^1	= 108 35 adjacent. .	»	»
mb^1	= 90 5 latéral. . .	»	»
a_4a_2	= 160 11	»	»
a_2a^1	= 164 44	»	»
a_2b^1	= 146 14	146 5 à 146 15	Descloizeaux.
		146 25	Dauber.
a^1b^1	= 161 30	»	»
me_4	= 143 22 adjacent. .	143 10 à 143 30	Descloizeaux.
me_2	= 123 44 adjacent. .	»	»
me^1	= 108 25 adjacent. .	»	»
mb^1	= 89 55 latéral. . .	89 30 envir.	Descloizeaux.
e_4e_2	= 160 22	160 30	Descloizeaux.
e_2e^1	= 164 41	»	»
e_2b^1	= 146 11	»	»
e^1b^1	= 161 29	»	»
mv	= 124 34 adjacent. .	»	»
	ou		
mv	= 124 41 adjacent. .	»	»
$m\varphi$	= 124 28 adjacent. .	»	»
	ou		
$m\varphi$	= 124 39 adjacent. .	»	»
mk	= 131 4 adjacent. .	131 30	Descloizeaux.
		130 45	Dauber.
ma_2	= 106 17 opposé. . .	106 30	Descloizeaux.
		106 19	Dauber.
mv	= 102 2 opposé. . .		
	ou	102 3	Descloizeaux.
mv	= 101 4 opposé. . .		
me_2	= 74 0 sur v. . .	»	»
a_2e_2	= 147 43 sur φ. . .	147 5	Descloizeaux.
		147 43	Dauber.
$m\chi$	= 130 53 adjacent. .	»	»
me_2	= 106 0 opposé. . .	»	»
$m\varphi$	= 101 45 opposé. . .	»	»
	ou		
$m\varphi$	= 100 47 opposé. . .	»	»
ma_2	= 73 43 sur φ. . .	73 40	Descloizeaux.
		73 31	Dauber.

Angles calculés.			*Angles mesurés.*	
ms	=	121° 44′ opposé...	»	»
ma_4	=	101 43 opposé...	»	»
$m\sigma$	=	121 22 opposé...	»	»
me_4	=	101 22 opposé...	101° 55′	Descloizeaux.
$h^3b^{7/20}$	=	103 11 opposé...	103 40	Descloizeaux.
h^3k	=	128 36 opposé...	128 40	Descloizeaux.
$h^3b^{7/10}$	=	98 20 opposé...	98 30	Descloizeaux.
h^3b^1	=	96 9 opposé...	95 35	Descloizeaux.
$g^3b^{7/20}$	=	102 51 opposé...	»	»
$g^3\chi$	=	128 20 opposé...	128 40	Descloizeaux.
$g^3b^{7/10}$	=	98 7 opposé...	98 30	Descloizeaux.
g^3b^1	=	96 0 opposé...	95 35	Descloizeaux.
h^2e_4	=	128 56 adjacent. .	128 0	Descloizeaux.
g^2a_4	=	129 7 adjacent. .	»	»
$vb^{7/20}$	=	135 6 adjacent. .		
		ou	135 environ.	Descloizeaux.
$vb^{7/20}$	=	134 18		
$vb^{7/10}$	=	143 39 adjacent. .		
		ou	143 environ.	Descloizeaux.
$vb^{7/10}$	=	143 10		
vb^1	=	145 12 adjacent. .		
		ou	145 à 145 20	Descloizeaux.
vb^1	=	144 55		
$vb^{7/20}$	=	114 17 sur p....		
		ou	114 à 115	Descloizeaux.
$vb^{7/20}$	=	115 9 sur p....		
$vb^{7/10}$	=	128 5 sur p....		
		ou	128 15	Descloizeaux.
$vb^{7/10}$	=	128 48 sur p....		
$\varphi b^{7/20}$	=	134 51 adjacent. .		
		ou	135 environ.	Descloizeaux.
$\varphi b^{7/20}$	=	134 2		
$\varphi b^{7/10}$	=	143 31 adjacent. .		
		ou	143 environ.	Descloizeaux.
$\varphi b^{7/10}$	=	142 58		
φb^1	=	145 7 adjacent. .		
		ou	145 à 145 20	Descloizeaux.
φb^1	=	144 45		

Angles calculés.	*Angles mesurés.*	
$\varphi b^{7/20} = 114° 33'$ sur p.... ou $\varphi b^{7/20} = 115\ 21$ sur p....	114° à 115	Descloizeaux.
$\varphi b^{7/10} = 128\ 18$ sur p.... ou $\varphi b^{7/10} = 128\ 58$ sur p....	128 15'	Descloizeaux.

$b : h :: 1000 : 355,097 \quad D = 708,75 \quad d = 705,46.$

Malgré la grande différence qui existe entre l'angle calculé, et l'angle mesuré pour $b^{1/3}m$, j'ai préféré conserver le signe simple $b^{1/3}$ plutôt que d'adopter $b^{5/16}$ indiqué par l'observation, parce qu'alors, la zone m, s, k, $b^{5/16}$, χ, σ, exigerait pour les faces s, k, χ et σ, des symboles par trop compliqués, et que les diverses incidences de ces faces ne seraient plus aussi bien en harmonie avec celles qui ont été trouvées directement. Quant aux faces v et φ, on voit que c'est le symbole le plus compliqué que je leur ai attribué précédemment qui paraît le plus convenable; cependant, si l'on admet les symboles simples $(b^{1/2}b^{1/6}h^{1/3})$ et $(b^{1/2}b^{1/6}g^{1/3})$, le désaccord entre le calcul et la mesure rentre à peu près dans la limite des erreurs possibles pour toutes les incidences, sauf pour celles de $m\ v$ et de $m\ \varphi$ opposées.

Note. J'ai annoncé dans le courant de ce mémoire qu'on pouvait facilement examiner, à l'aide d'un microscope polarisant, les anneaux qui se manifestent dans une lame mince placée entre deux prismes de verre d'un angle convenable. Il arrive souvent qu'on est obligé d'avoir recours à des prismes tellement épais, que cet examen devient très-difficile, sinon complétement impossible avec les instruments construits par

M. Amici ou d'après ses données : ces instruments possèdent en effet un foyer très-court et ils perdent tout leur champ lorsque l'épaisseur de la plaque qui leur est soumise dépasse 4 à 5 millimètres. On sait que M. Nörremberg a adopté une disposition ayant surtout pour but d'augmenter le champ de la vision (1) ; en modifiant un peu cette disposition, on obtient un appareil qui offre, pour les applications de l'optique à la minéralogie, certains avantages spéciaux que je vais signaler brièvement.

Cet appareil, tel qu'il est construit actuellement par M. Henri Soleil, se compose essentiellement d'un pied ordinaire de microscope portant une pile de glaces inclinée, destinée à polariser la lumière par réflexion, et un éclaireur fixé sur une tige creuse qui permet au corps contenant l'objectif et l'oculaire, de monter et de descendre à l'aide d'une tige à crémaillère mue par un petit pignon d'engrenage.

L'éclaireur est formé de trois lentilles biconvexes surmontées par une plaque tournante dont le centre est garni d'une lame de verre mince servant de support aux cristaux, et dont le bord est divisé de manière à pouvoir mesurer les divers azimuts où se trouvent les plans des axes optiques.

L'objectif comprend quatre lentilles plan-convexes dont trois à très-court foyer et une à foyer plus long : il est vissé au bout d'un tuyau dans lequel peut glisser un autre tuyau, qui porte à son extrémité supérieure une lentille biconvexe à long foyer servant d'oculaire, et le prisme de Nicol analyseur.

(1) Le microscope polarisant de Nörremberg est décrit dans les *Krystallographisch-optische Untersuchungen* du docteur Jos. Grailich, publiées à Vienne en 1858.

Le champ maximum de l'instrument, pour des plaques de 1 à 2 millimètres d'épaisseur, embrasse le premier anneau de chaque système, dans une topaze dont les axes ont un écartement de 121°; mais ce qui constitue son principal avantage, c'est que tous les phénomènes de lemniscates et d'anneaux colorés peuvent encore se voir, soit dans des plaques très-épaisses, soit dans des lames minces fixées entre deux prismes de plus de 60°, ayant une hauteur de 2 centimètres.

Cette précieuse faculté m'a fourni la solution d'un problème que je m'étais proposé depuis longtemps, et qui consistait à mesurer l'écartement des axes optiques dans des lames trop petites, trop minces, ou trop faiblement biréfringentes pour admettre l'emploi des procédés ordinaires. Dans ce but, M. Soleil a exécuté une plate-forme circulaire percée d'un trou central d'environ 15 mill. de diamètre et pouvant s'ajuster au-dessus de l'éclaireur; cette plate-forme porte un demi-cercle vertical gradué sur lequel se meut un index muni d'un vernier qui sert à apprécier les degrés et les demi-degrés. L'axe du bouton auquel est fixé l'index, est, comme dans le goniomètre de Wollaston, creusé de manière à laisser passer une tige mobile à frottement doux, terminée intérieurement par un support de forme variable : ce support est tantôt une petite pince à ressort, tantôt un anneau de cuivre dans lequel peut tourner librement un disque de verre mince dont le mouvement permet de diriger dans tous les azimuts le plan des axes optiques de la lame biréfringente. Pour mesurer l'écartement de ces axes, on choisit une plaque normale à leur bissectrice, et l'on dispose le plan dans lequel ils sont compris, perpendiculairement à la tige du support central; cette tige faisant elle-même un

angle de 45° avec le plan de polarisation du microscope. Le mouvement de rotation horizontale de la tige permet d'abord d'amener l'hyperbole de l'un des systèmes d'anneaux à coïncider avec la croisée de deux fils tendus dans l'intérieur du microscope, au-dessus de l'objectif; puis, en tournant le bouton qui fait mouvoir l'index, l'hyperbole du second système d'anneaux arrive à la même coïncidence et l'angle apparent des axes se lit immédiatement sur le cercle gradué. A l'aide de cet instrument, j'ai pu opérer sur des lames ayant moins de un millimètre de côté et mesurer avec une exactitude suffisante des écartements d'axes qui atteignaient, mais qui ne dépassaient pas 140 degrés.

LAVAGE DE LA HOUILLE

AUX MINES DE BRASSAC (PUY-DE-DÔME ET HAUTE-LOIRE).

Par M. LEBLEU, ingénieur des mines.

Le bassin houiller de Brassac, dont la description géologique et topographique a été donnée par M. Baudin, ingénieur en chef des mines, a une importance très-réelle, soit par la richesse de ses gisements, soit par la variété de ses houilles.

Autrefois les mines d'Auvergne avaient eu leur part dans le marché général de la France. Sans autre voie de communication que l'Allier, rivière torrentielle et capricieuse sur laquelle une navigation très-irrégulière est à peine possible pendant six semaines sur toute une année, ces mines concouraient à l'approvisionnement de Paris et du littoral de la Loire, d'Orléans à Nantes; elles fournissaient des quantités importantes de combustible aux usines du Berry et du Nivernais; enfin elles approvisionnaient exclusivement toute l'Auvergne et le littoral de l'Allier jusqu'à son confluent avec la Loire.

Peu à peu cependant tous ces débouchés furent fermés par la concurrence. Les villes situées sur les bords de la Loire cherchèrent leur combustible en Angleterre ou dans les mines du pays; le marché de la Nièvre fut absorbé par les mines de Decise; celui du Berry et du Bourbonnais par les mines de Commentry et autres du département de l'Allier. En Auvergne même les houilles de Saint-Étienne vinrent faire con-

currence à celles de Brassac, pendant que celles-ci voyaient tous leurs exploitants ruinés par la concurrence intestine.

Telle était la situation du bassin de Brassac en 1855, au moment de l'ouverture du chemin de fer Grand-Central. La création de cette ligne devait changer les conditions d'existence du bassin, mais non en lui ouvrant de nouveaux débouchés ou en lui rendant les marchés qui avaient été perdus. Les illusions qu'on avait pu se faire à ce sujet furent promptement dissipées. L'élévation des tarifs maintenue par la compagnie du chemin de fer Grand-Central rendait impossible les transports à de grandes distances, et, lorsque plus tard la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée prit possession de la section de Nevers à Brioude et fit des concessions sur les tarifs, l'ouverture de la section de Roanne mettait tout le marché du bassin de Brassac en communication directe avec Saint-Étienne, et créait une concurrence encore plus désastreuse.

Cependant la compagnie des mines de Brassac avait traité avec la compagnie du chemin de fer Grand-Central pour la fourniture exclusive des houilles nécessaires à la fabrication de ses cokes, et ce marché avait été maintenu par la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée. Mais cette dernière qui avait hérité des ateliers de fabrication de coke du Grand-Central à Brassac et qui, sur toutes ses autres lignes, ne consommait que les cokes de première qualité du Nord ou de Saint-Étienne, ne tarda pas à soulever de nombreuses difficultés sur la qualité des houilles qui lui étaient livrées. En effet les cokes qu'elle produisait en 1858 ne contenaient pas moins de 16 p. 100 de cendres. A aucun prix elle ne voulait continuer à employer un pareil combustible. Ce fut alors que la compagnie des mines

de Brassac offrit à la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée de reprendre à sa charge l'atelier de fabrication de coke, et de lui livrer des cokes contenant 10 et demi p. 100 de cendres à un prix inférieur au prix de revient de la fabrication des années précédentes. Une pareille proposition ne pouvait manquer d'être immédiatement acceptée; à partir du 1er janvier 1859 le nouveau traité fut mis en vigueur, et, depuis cette époque, toutes les livraisons ont été faites en suivant rigoureusement les termes du dit traité.

Le bassin de Brassac avait donc évité un écueil des plus graves et trouvé un grand consommateur dans la compagnie du chemin de fer. Ce résultat n'avait été obtenu que grâce aux procédés de lavage qui avaient été adoptés et qui donnaient des produits aussi purs que pouvait le comporter la matière première. Mais ce premier pas fut bientôt suivi d'un autre encore plus décisif. La compagnie du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, trouvant dans le bassin de Brassac des houilles de qualité très-diverses, et en même temps un mode de lavage qui permettait de les livrer dans toute leur pureté, songea à créer dans ce bassin un atelier central pour la fabrication des agglomérés. Cet atelier est aujourd'hui construit et commence à fonctionner. Désormais les houilles de Brassac seront consommées sur tout le réseau de Paris-Lyon-Méditerranée, et ce bassin aura acquis une importance plus grande encore que celle d'autrefois. Il la devra à un procédé spécial de lavage qui mérite une étude approfondie.

Exploitation des mines de Brassac; nature des houilles.

Toutes les couches de houille du bassin de Brassac ont une très-forte inclinaison, et la plupart peuvent

Exploitation de Bouxhor.

être considérées comme verticales. Leur puissance est très-variable : au Grosménil et à la Taupe, on en trouve qui ont dix, vingt et même trente mètres d'épaisseur. A Bouxhors au contraire, dans la concession où l'exploitation est de beaucoup la plus développée, on ne rencontre que des couches de 1 à 3 mètres de puissance. Nous prendrons cette mine comme type, non-seulement parce qu'elle est la plus productive (elle fournit annuellement environ 50.000 tonnes), mais aussi parce qu'elle peut jusqu'à un certain point résumer toutes les autres. D'ailleurs la houille de Bouxhors est celle qui a été le plus spécialement affectée aux expériences dont nous rendrons compte.

Le toit et le mur des couches offrant peu de solidité, il est impossible de les attaquer par de grandes tailles. Aussi le procédé d'exploitation consiste-t-il à ouvrir des chantiers d'abatage qui s'élèvent successivement sur les remblais; ces chantiers ont en général 2 à 3 mètres de hauteur et pour largeur l'épaisseur même des couches. Tous les chantiers d'un même champ d'exploitation sont ordinairement au même niveau et reliés entre eux par une ou plusieurs grandes galeries à travers bancs qui recoupent toutes les couches. Les chantiers s'éloignent des galeries à travers bancs jusqu'à une distance déterminée, puis ils reviennent jusqu'à cette galerie. Dans le premier cas, le remblai précède l'ouvrier de la distance dont il doit avancer dans la journée; dans le second cas, le remblai doit être au niveau du front de taille pour servir d'appui à l'ouvrier lui-même.

Ces quelques lignes peuvent à peine donner une idée de l'exploitation telle qu'elle est pratiquée dans les mines de Brassac. Mais elles nous permettent de signaler les nombreux et graves inconvénients qui en ré-

sultent au point de vue de la pureté des houilles.

1° L'exploitation simultanée des couches diverses rend très-difficile, sinon impossible, la séparation des produits de chacune d'elles. Cependant, ainsi que nous aurons occasion de le faire voir, elles sont de pureté différente, et il serait utile de les séparer pour recueillir à part les produits les plus purs.

2° Dans chaque couche composée ordinairement de deux ou plusieurs bancs très-purs, séparés par des veines de schistes, il est impossible d'enlever successivement chacun de ces bancs. La séparation des schistes est obtenue seulement par un travail attentif de l'ouvrier. On sait combien peu en général il faut s'en rapporter à lui pour une opération de ce genre, où le contrôle est presque impossible.

3° Dans tous les chantiers la houille abattue tombe sur des remblais déposés depuis vingt-quatre heures au plus. On est donc toujours exposé soit à laisser de la houille dans les remblais, soit à enlever avec celle-ci des matières étrangères. Des précautions très-minutieuses sont prises pour éviter ce double inconvénient. Les remblais sont exécutés avec un soin tout spécial dans le voisinage du front de taille, et les ouvriers doivent en outre garantir ces remblais par un plancher mobile sur lequel tombe la houille abattue. Mais pour que ces mesures de précaution fussent toujours rigoureusement exécutées, il faudrait une surveillance de tous les instants exercée sur chacun des ouvriers piqueurs. Quelque parfaite que soit cette surveillance, elle est loin d'être suffisante pour que l'on puisse compter sur le résultat; aussi faut-il admettre que la houille renferme toujours des matières étrangères provenant de son contact avec les remblais.

Il serait difficile de remédier à tous ces inconvénients

sans modifier complétement le système d'exploitation. Mais alors on rencontre des difficultés d'un autre ordre encore beaucoup plus sérieuses. Aussi, après de nombreux essais, est-on revenu au système ci-dessus décrit. On y a été conduit surtout à la suite des expériences sur le lavage qui ont permis d'obtenir avec la qualité moyenne des houilles un produit lavé très-supérieur à ce que l'on avait obtenu jusqu'à ce jour. Résultat alors d'autant plus important que les circonstances dont il a été parlé plus haut commandaient impérieusement la situation, et que la compagnie des mines de Brassac se serait vue, sans ce résultat, dans la nécessité de modifier son exploitation, avec une augmentation notable dans les prix de revient, et d'abandonner probablement certaines parties très-productives de ses mines de Bouxhors.

Après ces quelques mots sur le mode d'exploitation de ces mines, nous expliquerons succinctement les opérations auxquelles la houille est soumise avant d'être livrée aux ateliers de lavage et de carbonisation.

blage ouilles.

Les trois puits d'exploitation de Bouxhors sont reliés par de petits chemins de fer sur lesquels circulent les bennes à roues d'une contenance de 370 litres; celles-ci étant chargées directement au chantier d'abatage, sont amenées au jour et conduites sur ces chemins de fer au parc central où se font toutes les manipulations.

Les bennes arrivent à un niveau de 6m.60 supérieur à celui du sol; cette hauteur est suffisante pour les opérations de criblage qui s'exécutent dans trois appareils semblables; nous donnons (Pl. III, *fig.* 9) la description d'un de ces appareils.

La benne arrive par un chemin de fer sur un cul-

buteur, qui décrit un demi-cercle sous le poids de la benne, et en verse le contenu dans une trémie qui l'amène sur la grille supérieure, à barreaux espacés horizontalement de 4 centimètres. Tout le gros est amené par la pente de cette grille sur le plancher qui lui fait suite. Les fragments d'un volume moindre et la poussière passent sur la grille inférieure en treillis de fil de fer, à mailles de 1 centimètre de côté. Le menu seul traverse celle-ci, et la gailletterie composée de tous les fragments de 1 à 4 centimètres de côté reste entre les deux grilles. Le plancher, élevé lui-même de 2m.50 au-dessus du sol, est percé de nombreuses trappes au-dessous desquelles se trouvent des wagons d'une contenance de 1 mètre cube et circulant sur de nombreux embranchements d'un chemin de fer destiné à emporter les houilles triées. Le menu seul étant envoyé aux ateliers de lavage et de carbonisation, nous devons spécialement nous en occuper.

Nous avons dit que la grille inférieure était à mailles de 1 centimètre de côté; cependant cette dimension peut varier. En général la houille de Bouxhors est d'autant plus pure qu'elle est plus menue. Pour l'obtenir aussi pure que possible et en même temps pour faciliter le lavage dans les bacs à piston, alors que ces appareils étaient encore employés à Brassac, on remplaçait quelquefois la seconde grille par une autre dont les mailles n'avaient que 7 1/2 millimètres de côté. Mais alors le criblage s'exécutait mal, une grande partie du menu restant devant la grille. Dans d'autres circonstances, quand le menu venait à manquer, on remplaçait cette grille par une autre à mailles de 15 millimètres de côté. Mais alors le lavage était beaucoup plus difficile, surtout dans les bacs à piston, et dans tous les cas le coke produit était inférieur en qualité.

Nous pouvons donc dire, d'une manière générale, que la houille livrée aux ateliers de lavage et de carbonisation de Brassac est le menu de la mine de Bouxhors obtenu par un criblage à une grille à mailles de 1 centimètre de côté. Il résulte d'ailleurs de ce que nous avons dit sur les procédés d'exploitation et sur le mode de criblage que toutes les houilles provenant des différents points de la mine sont mélangées. Tout au plus fait-on quelquefois la séparation des produits de chacun des trois puits. Il nous reste maintenant à indiquer quelle est la qualité moyenne de ces menus. Ils contiennent, outre les impuretés qui entrent dans leur composition intime, des matières étrangères en quantité variable, provenant soit des schistes intercalés dans les couches et dont les débris n'ont pas été triés avec soin, soit du toit ou du mur qui en général sont friables, soit enfin des remblais dont une partie a pu être mélangée avec la houille par la négligence de l'ouvrier. Nous ferons d'abord abstraction de ces matières étrangères pour considérer la houille telle qu'elle existe en fragments purs dans les chantiers d'abatage.

ature bouilles différentes uches.

Nous avons dit que les différentes couches n'étaient pas également pures ; quoique ceci soit vrai d'une manière générale, il n'en faut pas conclure que la même couche a partout le même degré de pureté. Les travaux d'exploitation de Bouxhors se développent sur une longueur de 1700 mètres environ, où l'on retrouve partout les quatre couches principales. Mais sur différents points, c'est tantôt l'une tantôt l'autre qui offre le plus de régularité et généralement aussi donne la houille la plus pure. De nombreux essais faits sur des échantillons recueillis avec soin sur des points très-multipliés de chaque couche nous ont donné les résultats suivants :

COMPOSITION.	1re couche.	2e couche	3e couche.	4e couche.	Moyennes.
Matières volatiles	26,06	26,00	26,75	27,34	26,54
Carbone fixe.	63,30	61,32	64,61	61,85	62,77
Cendres.	10,64	12,68	8,64	10,81	10,69
Total.	100.00	100,00	100,00	100,00	100,00
Quantité correspondante de cendres contenues dans 100 kilogrammes de coke	14,39	16,95	11,70	14,87	14,48

La moyenne de ces qualités représente la houille brute de Bouxhors, en ajoutant toutefois une constante fixe pour la quantité d'impuretés étrangères à la composition intime et dont nous avons fait abstraction jusqu'à présent. En tenant compte de cet élément, comme on le fait naturellement en prenant des échantillons, non plus aux chantiers d'abatage, mais dans les tas du menu tels qu'ils sont au moment où on les soumet au lavage, nous avons trouvé dans de nombreux essais des résultats très-variables, parce que la prise d'échantillons est toujours très-difficile. Cependant la moyenne générale a donné 19 pour 100 de cendres dans le coke provenant de la houille brute, soit 14 pour 100 dans la houille. Nous adopterons ce chiffre.

Il en résulterait donc que les causes signalées plus haut d'addition de matières étrangères ajoutent aux impuretés qui font partie intégrante de la houille environ 3 ½ pour 100 de cendres, c'est-à-dire qu'elles représentent 25 pour 100 de la quantité totale d'impuretés.

Impureté contenue dans les bou

On verra plus loin que les anciens procédés de lavage ramenaient la houille à contenir environ 10 ½ pour 100 de cendres, c'est-à-dire qu'ils consistaient précisément à enlever les matières étrangères qui avaient été introduites par suite des vices d'exploitation. Or, l'examen

des produits du lavage fait voir que les impuretés de la houille se composent de trois éléments :

1° Des schistes purs ou charbonneux.

2° Des pyrites quelquefois en cristaux, quelquefois en paillettes d'une ténuité excessive.

3° De l'argile qui se délaye dans l'eau en entraînant avec elle des parties charbonneuses.

Le premier de ces éléments provient surtout des matières étrangères mélangées à la houille, le second et le troisième, au contraire, font partie de sa composition intime. Nous verrons dans le chapitre suivant quelle est la proportion relative de ces éléments.

Si les schistes sont faciles à séparer de la houille par un lavage même imparfait, il n'en est pas de même des pyrites et de l'argile qui exigent pour leur séparation des procédés très-énergiques et des soins tout particuliers.

La houille de Bouxhors présente donc toutes les difficultés que l'on peut rencontrer dans cette opération. Aussi, en décrivant le procédé employé aux mines de Brassac, nous examinerons la question à un point de vue tout à fait général, et ce procédé pourra être simplifié quand, par la suppression d'un ou deux des éléments indiqués, l'épuration deviendra plus facile.

Maintenant que nous avons fait connaître la nature de la houille soumise au lavage, nous entrerons dans les détails de l'opération, en donnant d'abord la description de l'atelier et des appareils employés.

Lavage de la houille.

Ateliers de lavage de fabrication de coke.

Nous avons dit que la houille, après avoir été divisée en diverses qualités par un criblage préalable, était chargée dans des wagons d'une contenance de 1 mètre cube. Ceux qui sont chargés de gros et de gailletterie

sont amenés au quai de chargement à une faible distance du parc (150 mètres environ) et versés directement dans les grands wagons circulant sur l'embranchement reliant la mine à la voie principale de la ligne de Nevers à Brioude. Les wagons chargés de menu, au contraire, sont conduits à l'un des deux ateliers de lavage et de carbonisation situés sur les bords de l'Allier à une distance de 2 kilomètres environ (1). Une rampe artificielle, sur laquelle les chevaux peuvent traîner les wagons, permet de les remonter au niveau supérieur de cet atelier. La houille est versée sur un plancher établi à ce niveau, c'est-à-dire à 5m.10 au-dessus du sol. Dans toutes les opérations subséquentes elle n'a plus qu'à descendre jusqu'après sa transformation en coke.

La Pl. III, *fig.* 10, 11 et 12, représente l'ensemble de l'atelier; la *fig.* 1 le plan, les *fig.* 2 et 3 des élévations sur deux faces différentes. EE (*fig.* 10) est le chemin de fer amenant les wagons de la mine à une hauteur indiquée sur la *fig.* 12, correspondant au niveau NN, obtenu au moyen de la rampe artificielle dont les remblais s'appuient contre le mur de soutènement M.

Un plancher, établi à cette hauteur, reçoit les houilles menues. Le lavoir est compris entre les niveaux D et G. Il est mis en mouvement par une machine à vapeur placée en A; B est l'emplacemeut de la chaudière, de l'autre côté de A est le logement du sur-

(1) Il peut paraître extraordinaire que l'atelier de lavage soit aussi éloigné de la mine; mais les fours à coke avaient été construits longtemps avant que l'on eût pensé à la création du chemin de fer, et à cette époque il y avait de grands avantages à les réunir aux magasins situés sur les bords de l'Allier. L'atelier de lavage a été ensuite naturellement réuni aux fours qui d'ailleurs sont reliés par un embranchemeut spécial à la ligne de Nevers à Brioude.

légèrement incliné en H'. C'est sur cette feuille perforée qu'arrivent les matières soumises au lavage.

Les deux compartiments M et K' de la caisse du lavoir sont mis en communication par une vanne O régnant sur toute la largeur du lavoir et mise en mouvement par un levier O'O''. C'est par cette ouverture que sont dégagés les schistes qui s'accumulent ainsi dans le compartiment N, appelé pour cette raison caisse aux schistes ou caisse aux *faraudés* (nom donné habituellement dans le pays aux schistes de la houille). Ces schistes sont évacués au moyen de la vanne K mise en mouvement par le levier K'K''.

Le mécanisme de l'appareil fera comprendre que la pression exercée dans la caisse M se reproduit dans le compartiment K' et peut y occasionner un remous fâcheux; pour l'éviter, un tube de 2 centimètres de diamètre traverse la paroi supérieure PP' et donne à l'eau le dégagement nécessaire.

Le lavoir se termine par la toile métallique inclinée P'P'' sur laquelle se déverse la houille lavée. Enfin celle-ci est recueillie sur une claie en osier P''P''' où elle finit de s'égoutter. L'eau chargée de schlamms se rend dans un vaste bassin de 4 mètres de largeur sur 12 mètres de longueur, divisé en plusieurs compartiments disposés en cascades.

L'arrivée de la houille dans le lavoir et sa sortie ont été suffisamment expliqués. Cependant la disposition de la *fig.* 13 indique un appareil dont il est indispensable de parler; c'est le broyeur mécanique, composé de deux cylindres en fonte DD' auxquels la machine donne un mouvement de rotation en sens inverse. Ce broyeur n'a pas donné de bons résultats avec les houilles grasses de Bouxhors dont les fragments écrasés s'empâtaient sans se diviser. Mais dans d'autres cir-

constances il peut être utilement employé. Il a été remplacé par une simple trémie dans laquelle l'ouvrier verse régulièrement à la pelle la houille à laver. Ce système serait avantageusement remplacé par une chaîne à godets qui élèverait la houille du niveau inférieur (en supprimant la rampe dont il a été question) et la distribuerait régulièrement dans le lavoir.

La marche de l'opération est très-simple. Marche de l'opérati

La houille menue, versée dans la trémie, arrive au point H à dix centimètres au-dessus de la toile métallique ; à chaque coup de piston elle est répandue sur toute la surface de cette toile. Au commencement de l'opération, la vanne O est fermée, et le mouvement alternatif de l'eau qui remplit toute la caisse M a seulement pour but de classer les matières par ordre de densité. Mais bientôt toute la partie supérieure à HH' est remplie et alors la houille lavée commence à se déverser sur PP'P''P'''. Cependant au bout d'un certain temps que le maître-laveur est habitué à apprécier, la toile métallique est recouverte d'une épaisseur de schistes de plusieurs centimètres ; il ouvre alors la vanne O, et les schistes, poussés par la pression de l'eau et par l'inclinaison de la toile métallique, se déversent dans la caisse K'. La vanne est ainsi ouverte ou fermée sans que l'opération soit interrompue. Quand la caisse K' est pleine, le maître-laveur ouvre la vanne K qui la dégorge. La caisse M elle-même se trouve, au bout d'un temps assez long il est vrai, obstruée par des paillettes très-ténues de pyrite qui ont traversé la toile métallique ; elle est munie d'une vanne de dégorgement C analogue à celle de la caisse K'. La houille lavée arrive sur la claie en osier P''P''' où elle est recueillie par l'aide laveur qui la charge dans les wagons ou la rejette sur le plancher où elle doit s'égoutter.

Quant aux déchets et produits accessoires, ils sont recueillis séparément. Les schistes provenant de la caisse N et les pyrites de la caisse M sont jetés aux remblais. Les schlamms recueillis dans le vaste bassin d'épuration sont employés pour le chauffage de la machine ou vendus pour la consommation domestique. Leur utilité est d'autant plus grande qu'ils sont plus purs; avec les houilles de Bouxhors il est difficile d'obtenir de ce produit surchargé de pyrites un rendement utile; mais il n'en est pas de même avec d'autres houilles du bassin de Brassac.

L'eau sortant des bassins d'épuration est rejetée dans la rivière; mais dans d'autres circonstances elle pourrait être utilisée. L'atelier des mines de Brassac étant situé sur les bords de l'Allier, il a suffi de creuser un puits de quelques mètres pour avoir une source inépuisable. Dans la plupart des cas il n'en sera pas ainsi, et il sera utile de ramener l'eau des bassins d'épuration dans ce puits où s'alimente la pompe. La quantité d'eau consommée sera alors très-faible.

rix vient. Le prix de revient du lavage est le même avec la machine telle que nous venons de la décrire et avec la machine modifiée. Les chiffres que nous établirons maintenant s'appliqueront donc aux procédés dont il sera parlé ultérieurement.

Nous avons dit que l'atelier de lavage et de carbonisation de la compagnie des mines de Brassac était réuni aux magasins qu'elle possédait sur le bord de l'Allier. L'employé chargé de la surveillance est en même temps garde-magasin. Les ouvriers employés au lavage sont occupés à d'autres travaux toutes les fois que la machine ne travaille pas; la machine à vapeur elle-même rend des services étrangers au lavage. Il est donc impossible de calculer le prix de revient sur les dépenses réelle-

ment faites; mais il est facile d'appliquer au lavage celles qui lui sont propres.

La machine, avec un seul lavoir, lave en 12 heures 50 tonnes de houille; elle occupe un mécanicien, un maître laveur, deux manœuvres; soit par jour 9 fr. L'entretien du lavoir est de 300 fr. par an, celui de la machine de 600 fr., soit par jour 12 fr. avec la main d'œuvre. Ce qui représente par tonne 24 centimes. En ajoutant 1500 fr. par an pour les frais généraux et l'amortissement, le total du prix de revient serait de 34 centimes. Mais avec deux lavoirs produisant par jour 100 tonnes de houille lavée, la dépense serait la suivante par jour :

Un mécanicien à 2f.50 par jour.	2,50
Deux maîtres laveurs à 2f,50	5,00
Trois manœuvres à 2 francs	6,00
Entretien de la machine (600f par an)	2,00
Entretien des lavoirs (300f par an pour chacun).	2,00
Surveillance (1.000f par an)	3,30
Amortissement (1.000f par an)	3,30
Total.	24,10

Soit 0f.241 par tonne de houille lavée.

Modifications successives apportées à l'appareil primitif.

Outre l'appareil Meynier, la compagnie des mines de Brassac employait en 1858 les bacs à piston et les caisses allemandes pour le lavage de la houille. Le tableau placé à la fin de ce chapitre fait voir que le bac à piston donnait des produits relativement assez purs ; mais le prix de revient était très-élevé et le matériel nécessaire pour un lavage un peu important eût été trop considérable. La houille lavée dans les caisses alle- Bacs à piston et caisses allemandes

mandes était moins pure que dans la machine. Cependant l'examen attentif des opérations avait fait reconnaître que si le bac à piston épurait la houille dans une bonne proportion, celle-ci contenait encore après le lavage la plus grande quantité des pyrites et donnait par conséquent un coke très-sulfureux. Les caisses allemandes au contraire dégageaient assez bien les pyrites mais n'enlevaient qu'imparfaitement les autres éléments d'impureté. Enfin la machine Meynier séparait les schistes avec une grande précision ; mais là se bornait son action.

La variété des résultats obtenus par les trois appareils était la conséquence de leur principe même. Les trois éléments qui constituent les impuretés de la houille étant à des états très-différents, une opération unique est insuffisante pour en déterminer la séparation. En prenant des houilles autres que celles de Bouxhors, un ou deux de ces éléments pourrait disparaître, et dans ce cas l'un ou l'autre des appareils donnerait des résultats très-satisfaisants. C'est ce qui explique pourquoi un lavoir, employé dans une exploitation où il rend de très-grands services, devient tout à fait insuffisant dans une autre. Telle est aussi la cause de l'incertitude qui règne encore aujourd'hui sur le meilleur procédé de lavage.

La réunion dans un même atelier de trois types différents nous donna l'idée de combiner leurs éléments pour obtenir dans un même appareil les résultats des trois opérations.

Un premier essai consista à annexer une caisse allemande au lavoir Meynier. La houille lavée, au lieu d'être reçue sur une toile métallique inclinée, fut conduite dans cette caisse avec l'eau qui l'avait amenée. On obtint ainsi une réduction notable de la proportion

de cendres qui, de 11,15 p. 100, fût ramenée à 9,18 p. 100.

Ce résultat nous conduisit immédiatement à ajouter à l'appareil Meynier des caisses en bois ayant la même largeur que la caisse en tôle, et disposées à la manière des caisses allemandes. Le déversoir avec toile métallique inclinée fut reporté à l'extrémité de ces caisses, au nombre de trois, et l'opération fut conduite comme avec l'appareil primitif, tout en faisant subir à la houille une nouvelle épuration. Il est clair que par cette disposition les déchets n'étaient augmentés que de la quantité de matières impures retirées des caisses. La proportion de cendres fut encore réduite à 8,70 p. 100.

Mais la manœuvre des caisses nécessitait des interruptions de travail qu'il importait d'éviter. Pour obtenir ce résultat, chaque caisse fut percée, à la partie inférieure d'une de ses faces latérales, d'une ouverture munie d'une vanne qu'il suffisait d'ouvrir pour opérer le dégagement des matières impures. Celles-ci contenaient encore une notable quantité de houille qu'il importait de ne pas perdre. A cet effet, elles étaient reçues dans un petit lavoir ou caisse allemande ordinaire qui opérait la séparation.

En suivant attentivement la marche des opérations, nous fûmes conduit à de nouvelles modifications de détail qui seront expliquées lors de la description de l'appareil complet.

C'est par ces procédés que furent lavées les houilles destinées à la fabrication du coke par la compagnie du chemin de fer; les cokes ne devant contenir que 10,50 p. 100 de cendres, cette proportion correspondait à 7,71 p. 100 pour la houille. Nous étions donc arrivé à réduire successivement cette proportion de 11,15 à 7,71 p. 100.

Cependant le bac à piston produisait encore certains

effets que nous ne pouvions atteindre, quoique la houille lavée par ce procédé contînt plus de cendres (9,50 p. 100). Pour doter notre appareil de ces avantages, il fallait une nouvelle combinaison qui méritait d'abord un essai spécial.

La caisse en tôle fut séparée des caisses en bois, et dans l'intervalle fut installé un bac à piston ordinaire, recevant son mouvement de la machine. L'opération primitive n'était encore en rien compliquée par cette addition. L'eau et la houille étaient amenées, en sortant de l'ancienne caisse en tôle, sur la toile métallique du bac à piston, où la houille recevait un mouvement d'oscillation; l'eau entraînait les parties supérieures les plus pures dans les caisses en bois, et les schistes accumulés sur la toile métallique étaient dégagés par une vanne qui les amenait dans une caisse aux schistes, comme dans la première caisse en tôle.

pareil finitif. L'appareil complet est la conséquence de toutes les améliorations successives que nous venons d'indiquer. Il se compose de cinq parties bien distinctes :

1° La pompe;

2° Une première caisse en tôle dans laquelle arrivent l'eau et la houille;

3° Une deuxième caisse en tôle, dans laquelle la houille est soumise à un mouvement d'oscillation;

4° Des caisses en bois où le lavage s'opère par entraînement des matières;

5° Le déversoir.

La Pl. IV représente le plan et la coupe longitudinale de l'appareil.

mpe. La pompe aspirante et foulante A doit fournir au moins un hectolitre par coup de piston pour chaque lavoir qu'elle alimente. Celle qui est indiquée sur le plan fournit deux hectolitres et peut alimenter deux lavoirs.

Toutes les autres conditions d'installation dépendent d'ailleurs entièrement des circonstances, et même la pompe peut être remplacée par un écoulement intermittent lorsqu'on peut profiter d'une chute d'eau.

Nous ne reviendrons pas sur la description de la première caisse en tôle B qui reste identiquement la même que dans l'appareil de la Pl. III. **Première cai en tôle.**

La deuxième caisse en tôle C a une section horizontale double de la précédente, mais elle est construite de la même manière ; elle est divisée en deux compartiments D, E par une plaque en tôle *ab*. Une toile métallique ou feuille de zinc perforée et placée sur un châssis légèrement incliné vers la vanne *de*, régnant sur toute la largeur du lavoir et mise en mouvement par un levier *d'd''*. Les schistes accumulés sur cette toile métallique sont envoyés par cette ouverture dans le compartiment E, d'où ils sont évacués au moyen de la vanne K. Les schlamms accumulés dans le compartiment D, au-dessous de la toile métallique, sont évacués par une autre vanne G. **Deuxième ca en tôle.**

La caisse C est mise en communication par le tuyau F avec un corps de pompe A' dans lequel joue un piston plein. La section et la course de ce piston sont calculées de manière à donner à la masse de houille un mouvement oscillatoire de $0^{m},07$ à $0^{m},08$. D'ailleurs, l'ouverture *g* du tuyau F est élargie, comme dans la première caisse, dans un sens perpendiculaire à l'axe du lavoir, et protégée également par un clapet *ff'* contre l'introduction des matières en suspension dans l'eau.

Cette seconde caisse joue un rôle important dans le lavage. Son mode d'action doit varier suivant la nature des matières soumises à l'épuration. Dans le cas où l'on aurait à laver du minerai très-dense (nous verrons que

l'appareil peut être employé dans ce cas et rendre de très-grands services), il serait bon de donner à la matière elle-même un mouvement direct d'oscillation sans se servir de l'eau comme véhicule. A cet effet, nous proposons la disposition suivante (Pl. IV, *fig.* 2). Le châssis qui supporte la toile métallique ou feuille de zinc est fixé à un axe vertical mobile, et glisse dans des rainures ménagées le long des parois verticales de la caisse. La partie inférieure de l'axe est adaptée à un piston plein jouant dans un corps de pompe mis lui-même, par un tuyau de faible diamètre, en communication avec une petite pompe mue par la machine. Chaque coup de piston de cette pompe dont le mouvement pourra être rapide communiquera au châssis et à la toile métallique un mouvement ascensionnel qui pourra être aussi précipité qu'on le voudra.

s en bois. Les caisses en bois, LL'L'', avaient été primitivement construites comme les caisses allemandes ordinaires, mais de nombreuses modifications y ont été apportées pendant la marche de l'appareil. Ces caisses sont au nombre de trois, mais leur nombre peut être augmenté ou diminué selon la nature des houilles ou minerais à laver, et aussi selon l'espace et la pente dont on dispose. Comme elles sont toutes construites sur le même modèle, nous donnerons le détail de l'une d'elles.

Elle a une longueur de $1^m,30$ et une largeur égale à celle du lavoir, soit $1^m,22$. Le fond est incliné en sens contraire du mouvement de l'eau, et a une profondeur de $0^m,30$ au-dessous de l'arête *m* par-dessus laquelle l'eau et la houille sont amenées. L'arête extrême *n* est de $0^m,10$ en contre-bas de la première. La pente du fond est brisée en *h* de manière à lui donner deux inclinaisons inégales. Une planche *pp* placée à $0^m,10$ en avant de *m* et à $0^m,10$ au-dessus du fond force l'eau

et la houille à un mouvement de remous dans lequel les parties les plus légères sont seules entraînées. Un clapet *r*, fermant une ouverture longitudinale régnant sur toute la largeur de la caisse et manœuvré par un levier *r'*, donne issue aux matières impures qui se sont déposées. Une vanne *v*, manœuvrée par le levier *v'*, est amenée successivement de la position horizontale à la position verticale, de manière à élever graduellement le niveau de la houille qui se dépose.

Avant d'ouvrir le clapet *r*, le laveur a soin d'abaisser la vanne *v*, de manière à faire écouler la plus grande partie de la houille qui se trouve accumulée. Alors seulement il donne issue aux matières impures qui, par le conduit K, se rendent dans le petit lavoir M, où elles subissent un nouveau lavage qui permet de recueillir la houille qu'elles contiennent encore.

Déversoirs

Le déversoir se compose, comme dans l'appareil précédemment décrit, d'une toile métallique inclinée N. La houille lavée est reçue sur une claie en osier P, où elle finit de s'égoutter.

Marche de l'opération

La marche de l'opération avec l'appareil ainsi complété n'est guère plus compliquée qu'avec l'appareil primitif précédemment décrit. Son caractère essentiel est d'être continue.

La houille menue est toujours versée à la pelle dans la trémie T, et le mécanisme de la première caisse fonctionne comme il a été dit. Lorsque celle-ci est remplie, la houille est amenée par l'eau dans la seconde et successivement dans les suivantes pour venir se déverser sur la toile métallique N après avoir subi plusieurs épurations consécutives. Le maître laveur fait jouer les vannes de la seconde caisse de la même manière que celle de la première. Il a soin, en outre, de relever graduellement les vannes *v* des caisses en bois

et d'ouvrir, lorsque cela est utile, les clapets *r*. Alors l'eau et les matières impures mélangées d'une faible quantité de houille se déversent dans le petit lavoir M, où l'ouvrier opère comme dans une caisse allemande ordinaire. Comme la houille produite par ce second lavage n'est généralement pas plus pure que la houille brute, ainsi qu'on le verra au tableau placé à la fin du chapitre, il convient de la rejeter dans le lavoir principal, plutôt que de la mélanger avec la houille lavée ou d'en faire une qualité secondaire.

Quant aux déchets et produits accessoires, ils sont recueillis séparément. Les schistes ou faraudés des deux premières caisses B et C sont jetés aux remblais de même que les pyrites de la caisse B. Les schlamms de la deuxième caisse C, ainsi que ceux des déversoirs N et N′, sont amenés dans le bassin d'épuration dont il a été parlé. Enfin les déchets du petit lavoir M, qui, en réalité, sont ceux des caisses en bois LL′L″, sont jetés aux remblais. Le transport de toutes ces matières se fait par l'eau qui circule dans des conduits en bois indiqués dans la Pl. IV.

ications minerais. D'après ce qui précède, on voit que les impuretés de la houille sont recueillies et séparées avec autant de précision que la houille elle-même. Si, en renversant la question, on veut, dans un lavage de minerais, obtenir les produits les plus lourds, l'appareil fonctionnera de même sauf quelques modifications de détail, notamment dans la profondeur des toiles métalliques et des caisses en bois. On pourra alors appliquer la disposition de la *fig.* 2.

lification ıppareil. Nous avons décrit l'appareil complet applicable au lavage des houilles contenant trois éléments d'impureté; si l'un ou l'autre de ces éléments vient à disparaître, l'appareil doit être simplifié. Par exemple avec des

houilles ne contenant que des schistes, sans parties argileuses et avec peu de pyrites, la première caisse en tôle avec une caisse en bois peut suffire. Dans chaque cas particulier, on aura à apprécier ce qu'il convient de supprimer.

Le prix de l'appareil complet est d'environ 12,000 fr.; la machine et la pompe représentent la plus grande partie de cette somme. Aussi, dans le cas où l'on disposerait d'une chute d'eau, la dépense d'installation serait-elle réduite dans une grande proportion. Prix de l'appareil.

La nature et la quantité des déchets et des produits varie nécessairement avec la nature des matières soumises au lavage. Aussi en indiquant les résultats de la machine à laver de Brassac, nous n'entendons que donner un aperçu de ce que l'on peut obtenir. Déchets.

Pendant plusieurs jours consécutifs, les houilles brutes et lavées ont été mesurées et pesées avec soin, de même que les produits accessoires; on a obtenu les résultats suivants :

Houille brute : 186.666 kilogrammes.

NATURE DES PRODUITS.	POIDS.	Proportion p. 100.	POIDS.	Proportion p. 100.
	kil.		kil.	
Houille lavée du déversoir du grand lavoir	142 415	76,29	147.959	79,26
Id. du petit lavoir	5.544	2,97		
Déchets. Schistes	5.562	2,98	38.707	20.74
— Pyrites	2.765	1,49		
— Schlamms	30.380	16.27		
Total	186.666	100.00	186.666	100,00

On s'étonnera probablement de la quantité énorme de schlamms qui est de 16.27 pour 100. Mais nous avons dit déjà que les boues étaient très-impures et il importe de s'en débarrasser. A cet effet les mailles de

la toile métallique du déversoir ont été successivement élargies, et même, dans certains cas, on avait placé entre les caisses en tôle et les caisses en bois des feuilles de métal perforées qui augmentaient encore le déchet. Avec d'autres houilles du bassin de Brassac, notamment celles de la Combelle, autre exploitation de la Compagnie, les schlamms sont très-purs, et il importe d'en diminuer la proportion en resserrant les mailles du déversoir (1). Ceux-ci, en effet, ne contiennent que 12 à 14 pour 100 de cendres, tandis que ceux provenant de la houille de Bouxhors se composent de 69.50 pour 100 de houille et de 30.50 pour 100 de cendres. Le mélange est d'ailleurs si intime qu'on ne peut, par d'autres lavages, obtenir la séparation des matières impures, et l'on est obligé, comme nous l'avons dit, de brûler ces déchets à la machine ou de les vendre à vil prix.

'eneur cendres s divers oduits.

Nous terminerons en donnant comme nous l'avons annoncé le tableau de la teneur en cendres de la houille brute et lavée, dans divers cas particuliers, ainsi que des divers produits accessoires :

(1) Nous n'avons pas donné la dimension des mailles des toiles métalliques ou des trous des feuilles perforées, parce que ces dimensions sont très-variables et dépendent entièrement de la nature des matières soumises au lavage.

DATES des expériences.	NATURE DES PRODUITS.	CENDRES p. 100 du produit.	CENDRES Moyenne.	SOUFRE p. 100 du produit analysé.
1858-59	Houille brute livrée au lavage	14,00	14.00	1,50
1858-59	Échantillons pris aux chantiers d'abatage sans mélange de schistes . . .	10,69	10,69	
1858	Houille lavée à la caisse allemande .	11,39	10,68	
	Houille lavée à la machine Meynier.	11,15		
	Houille lavée au bac à piston.	9,50		
1858 oct.	Houille lavée dans la machine de Meynier et la caisse allemande	9,18	8,68	»
— nov.	— et trois lavoirs en bois.	8,70		
— déc.	— (autres modifications) . , . .	8,45		
1859 janv.	— (annexion des lavoirs	8,40		
1859	Houille lavée livrée en 1859	7,71	7,71	»
	Déchets :			
1859	Schiste de la 1re caisse en tôle.	45,00	35,65	3,47
	Schiste de la 2e caisse en tôle.	40,10		3,76
	Schiste du petit lavoir	35.33		2,95
	Schlamms de la 2e caisse en tôle . . .	27,20		2,44
	Schlamms du déversoir	30,50		2,84

Plusieurs observations importantes sont à faire sur ce tableau. D'abord, c'est à dessein que nous n'avons pas fait figurer la proportion de soufre contenu dans la houille lavée. Les résultats des analyses ont donné des chiffres si discordants qu'il était impossible d'en prendre une moyenne. Cependant la houille brute contient en moyenne 1.50 pour 100 de soufre, ce qui est énorme; et les déchets en contiennent 3 pour 100. En outre il faudrait tenir compte des pyrites qui sont recueillies à l'état presque pur. Aussi un lavage soigné ramène-t-il la houille sulfureuse de Bouxhors à une qualité très-convenable pour la forge et la fabrication du coke de fonderie. Ce résultat suffit pour montrer quels services immenses rend le lavoir, et de quelle utilité il peut être avec des houilles moins sulfureuses.

Les déchets ne contiennent en moyenne que 35.65 pour 100 de cendres. La perte de houille est donc considérable puisqu'elle équivaut 64.33 pour 100 des dé-

chets. Mais ce résultat est inhérent à la nature même des houilles de Bouxhors; il provient si peu d'un défaut de la machine que, dans maintes circonstances, tous les déchets ont été soumis à de nouveaux lavages réitérés, sans pouvoir en retirer de houille pure. Nous avons expliqué déjà que le seul moyen d'obtenir avec la houille de Bouxhors un produit aussi pur que possible était d'augmenter la quantité de déchets.

Il n'en est pas de même avec les houilles de la Combelle dont nous avons déjà parlé. Quoique les menus bruts contiennent plus de cendres, on obtient un produit lavé ne contenant pas plus de 6 pour 100, avec une proportion beaucoup moindre de déchets.

sumé. Ces observations viennent à l'appui de ce que nous avions dit déjà que les houilles de Bouxhors présentaient au lavage les plus grandes difficultés que l'on puisse rencontrer dans cette opération. Les résultats que nous avons obtenus nous ont paru assez importants pour être signalés, et nous pensons que l'application de notre système dans d'autres exploitations amènera encore de nouveaux progrès. En attendant, la Compagnie des mines de Brassac, tout en profitant des résultats acquis, continue à suivre la voie des expériences dans laquelle nous l'avons fait entrer; il est probable qu'elle parviendra encore à améliorer ses produits; alors elle pourra compter sur l'avenir et sa prospérité, autrefois compromise, sera désormais assurée.

RECHERCHES

SUR LES TENSIONS ÉLASTIQUES DÉVELOPPÉES PAR LE SERRAGE DES BANDAGES DES ROUES DU MATÉRIEL DES CHEMINS DE FER.

Par M. H. RESAL, ingénieur des mines.

Le procédé employé pour placer le bandage des roues des véhicules des chemins de fer sur la jante ou sur le faux-cercle, et pour obtenir une solidarité suffisante entre les deux pièces, donne lieu à une question de résistance des matériaux très-intéressante, et dont la solution ne me paraît pas sans utilité.

On sait que le diamètre intérieur du bandage, un peu plus petit à froid que le diamètre extérieur de la jante, est agrandi sous l'action de la chaleur, de manière à ce que l'ouverture correspondante puisse recevoir, comme noyau, le système formé par la jante les rais et le moyeu. Par le refroidissement le bandage se contracte, tend à revenir à sa forme primitive, en même temps qu'il comprime le noyau, de la circonférence au centre, et il est clair que lorsque le refroidissement est complet la courbe de joint de ces deux pièces est comprise entre les circonférences primitives intérieure du bandage et extérieure de la jante. Il s'est ainsi développé, concentriquement à la roue, une tension élastique dans le bandage et une compression élastique dans le faux bandage; les rais rectilignes des roues des locomotives se trouvent soumis à une compression de la circonférence au centre, et les

rais polygonaux des roues de wagons à des efforts de flexion.

La dépendance mutuelle entre ces différentes forces élastiques donne à leur recherche un caractère particulier, peu ordinaire aux questions de résistance des pièces courbes que soulèvent les applications.

Il arrive, encore assez souvent, que, après un service plus ou moins long, les bandages, principalement ceux des locomotives, se rompent à la soudure, à l'imperfection de laquelle la rupture est toujours attribuée. Les constructeurs se sont ingéniés pour arriver à des systèmes de soudage présentant les meilleures garanties de résistance; néanmoins, malgré leurs efforts, le nombre des pièces reconnues défectueuses par l'usage, quoique relativement réduit, est encore assez notable pour que l'on ait à se demander si l'une des causes de la rupture ne tiendrait pas à une trop grande différence entre les rayons primitifs intérieur du bandage et extérieur de la jante, ou à une tension élastique dans la première de ces pièces, trop voisine de celle qui correspond à la rupture, laquelle est nécessairement plus faible à la soudure, quelle que soit sa perfection, que pour le corps du bandage (1).

Déterminer, pour le serrage, sa limite maximum sous le rapport de la résistance, et sa limite minimum correspondant à une adhérence suffisante avec le faux

(1) C'est dans le but de s'affranchir des inconvénients des soudures transversales, que l'on a imaginé et que l'on construit des bandages dits sans soudure, obtenus en forgeant des rondelles résultant de l'enroulement en spires serrées d'une longue barre plate. Mais les bandages, pour des motifs que nous n'avons pas à apprécier, n'ont pas été reconnus, d'une manière générale, comme pouvant remplacer avantageusement les bandages dont nous nous occupons dans ce travail.

bandage, telle est la question que je me propose de résoudre. Elle m'a été suggérée par M. Pinat, ingénieur distingué attaché aux forges d'Allevard, à qui l'on doit pour les bandages en acier fabriqués dans ces établissements, un très-bon procédé de soudure, dont il a donné la description dans les mémoires de la Société des ingénieurs civils (1859).

Toutefois je ne m'occuperai, dans ce travail, que des roues à rais rectilignes, attendu que par la facilité avec laquelle les rais polygonaux se déforment, s'infléchissent, le bandage reprend à très-peu près, après le serrage, sa forme primitive, et que les tensions élastiques développées dans le bandage, étant par suite très-faibles, n'entrent en quelque sorte pour rien dans les conditions de sa résistance.

Je n'ai pu, à mon grand regret, appliquer les formules auxquelles je suis parvenu à quelques exemples numériques ; mais mes attributions étant complétement étrangères à l'exploitation des chemins de fer, il ne m'a pas été possible de me procurer les données qu'il m'était nécessaire de connaître.

Du rayon de courbure d'une courbe peu différente d'un cercle

Lorsqu'une pièce cylindrique est soumise à l'action de forces extérieures assez faibles pour ne pas produire des tensions ou compressions moléculaires capables de modifier la constitution physique de la matière, les circonférences matérielles qui la composent se transforment en des courbes qui diffèrent très-peu des circonférences primitives, c'est-à-dire que les différences entre les rayons vecteurs émanant du centre, les rayons de courbure, les directions des tangentes, pour les points correspondants, restent de très-petites quantités.

Les forces élastiques développées s'exprimant en fonction du rayon de courbure des circonférences dé-

formées, nous avons préalablement à en déterminer l'expression.

Soient :

r le rayon de la circonférence considérée.

$a = r(1-e)$ le rayon vecteur de la circonférence déformée correspondant à l'angle polaire θ.

e est une très-petite quantité, fonction de θ, dont nous négligerons le carré, ainsi que celui des dérivées, et les produits de ces dérivées entre elles ou par e.

L'angle V que forme la tangente avec le rayon a sera donné par

$$\operatorname{tang} V = a\frac{d\theta}{da} = -\frac{1}{\frac{de}{d\theta}} \quad \text{d'où} \quad V = 90^\circ + \frac{de}{d\theta}.$$

D'autre part, on a pour l'angle de contingence $d\alpha$

$$d\alpha = dV + d\theta = d\theta\left(1 + \frac{d^2e}{d\theta^2}\right)$$

et pour l'élément d'arc ds

$$ds = \sqrt{da^2 + a^2 d\theta^2} = r(1-e)d\theta.$$

Enfin, il vient en désignant par ρ le rayon de courbure

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d\alpha}{ds} = \frac{1}{r}\left(1 + e + \frac{d^2e}{d\theta^2}\right).$$

Cela posé, soient :

r le rayon extérieur primitif du faux bandage ;

$r(1-a)$ le rayon intérieur primitif du bandage ;

ω_1, ω les sections méridiennes de ces deux pièces ;

γ_1, γ les distances respectives de leurs centres de gravité aux circonférences de rayon r, $r(1-a)$;

ds un élément de la circonférence $2\pi r$;

ds' ce qu'il est devenu après le serrage ;

$\lambda = \frac{ds - ds'}{ds}$ la contraction éprouvée par cette circonférence ;

$r(1-e)$ le rayon vecteur correspondant à l'angle polaire θ de la courbe qui résulte de sa déformation ;

$\rho = \frac{r}{1 + e + \frac{d^2 e}{d\theta^2}}$ le rayon de courbure correspondant ;

E le coefficient d'élasticité du fer ;

G le rapport du coefficient d'élasticité au coefficient de glissement, égal à 2, d'après M. Wertheim ;

s la distance d'un élément $d\omega$ de l'une ou de l'autre des sections ω_1, ω, aux circonférences de rayons r, $r(1-a)$;

i_1, i les moments d'inertie de ces sections par rapport à leur côté commun après la pose ;

Ω l'ensemble des sections, ou $\omega_1 + \omega$;

I le moment d'inertie de Ω par rapport au côté commun à ω, ω_1 ;

I_1 le moment d'inertie de Ω par rapport à une parallèle au même côté, passant par son centre de gravité ;

Γ la distance de ce centre au côté ci-dessus.

Nous négligerons les puissances supérieures à la première, et les produits entre elles des quantités très-petites a, e, λ.

Par le serrage, les sections planes normales au bandage et au faux bandage se sont déformées, et leurs dimensions se sont altérées ; mais on peut, en raison de la faible épaisseur de la roue dans le sens du rayon, par rapport au rayon moyen, supposer qu'elles sont

restées planes ; de plus, il sera permis de négliger les variations éprouvées par leurs dimensions, ce qui revient, dans le calcul des forces élastiques et de leurs moments, à laisser de côté des termes du même ordre de grandeur que les puissances supérieures à la première des quantités a, e, λ.

Ces mêmes sections se sont inclinées chacune d'un angle très-petit, qui mesure le glissement, sur la circonférence $2\pi r$ déformée; mais on pourra, en se conformant au mode d'approximation adopté, faire abstraction de cet angle dans l'évaluation des forces élastiques normales aux sections et de leur moment. D'ailleurs le glissement peut être considéré comme étant le même dans les deux pièces, en négligeant les termes de l'ordre de son produit par a, ce qui est permis.

Les forces élastiques normales seront regardées comme positives ou négatives selon qu'elles agiront par *traction* ou par *compression*.

Cela posé, la force élastique normale à l'élément $d\omega$ de ω_1, sera, en négligeant le glissement et le carré de $\frac{\varepsilon}{r}$,

$$E d\omega \left[\frac{ds'\left(1 - \frac{\varepsilon}{\rho}\right) - ds\left(1 - \frac{\varepsilon}{r}\right)}{ds\left(1 - \frac{\varepsilon}{r}\right)} \right] = -E d\omega \left[\lambda + \frac{\varepsilon}{r}\left(e + \frac{d^2 e}{d\theta^2}\right) \right].$$

En multipliant cette force par $-\varepsilon$, on aura son moment par rapport au côté commun à ω, ω_1, et l'on obtient, par l'intégration, pour la somme ou la résultante des composantes normales à ω_1, et pour la somme de leurs moments, les expresssions respectives

$$-E\omega_1 \left[\lambda + \frac{\gamma_1}{r}\left(e + \frac{d^2 e}{d\theta^2}\right) \right]$$

$$E\left[\lambda\omega_1\gamma_1 + \frac{i_1}{r}\left(e + \frac{d^2 e}{d\theta^2}\right) \right].$$

L'élément de la circonférence primitive intérieure du bandage qui est devenu ds' peut être considéré comme égal à $\frac{ds.r(1-a)}{r} = ds(1-a)$; et l'on a, pour l'élément $d\omega$ de ω, la force élastique normale

$$(1) \quad \mathrm{E}d\omega\left[\frac{ds'\left(1+\frac{\varepsilon}{\rho}\right)-ds(1-a)\left(1+\frac{\varepsilon}{r(1-a)}\right)}{ds(1-a)\left(1+\frac{\varepsilon}{r(1-a)}\right)}\right]=$$

$$=\mathrm{E}d\omega\left[-\lambda+\frac{\varepsilon}{r}\left(e+\frac{d^2e}{d\theta^2}\right)+a\right].$$

En intégrant cette expression et son produit par ε, on trouve pour la force élastique normale à ω, et pour la somme des moments

$$\mathrm{E}\omega\left[-\lambda+\frac{\gamma}{r}\left(e+\frac{d^2e}{d\theta^2}\right)+a\right]$$

$$\mathrm{E}\left[-\lambda\gamma\omega+\frac{i}{r}\left(e+\frac{d^2e}{d\theta^2}\right)+a\gamma\omega\right].$$

Enfin, il vient pour la composante totale, et le moment, relatifs à la section Ω

$$(2) \quad \begin{cases} \mathrm{E}\left[-\lambda\Omega+\frac{\Omega\Gamma}{r}\left(e+\frac{d^2e}{d\theta^2}\right)+a\omega\right] \\ \mathrm{E}\left[-\lambda\Omega\Gamma+\frac{\mathrm{I}}{r}\left(e+\frac{d^2e}{d\theta^2}\right)+a\omega\gamma\right]. \end{cases}$$

Supposons maintenant que l'on puisse déterminer *à priori* la valeur et la position de la résultante totale $\mathrm{E}p$ des forces élastiques correspondant à une section ab (Pl. VI, *fig.* 1) à partir de laquelle nous compterons l'angle θ; soit α l'angle formé par $\mathrm{E}p$ avec la normale à la même section. Si la portion du cercle de la roue détermi- Equations d'élasticité des pièces cylindriques.

née par les limites $\theta = 0$, $\theta = \alpha$, n'est sollicitée par aucune force extérieure, l'équilibre de cette portion exige que la résultante des forces élastiques relatives à la section *cd*, déterminée par $\theta = \alpha$, soit égale et contraire à E*p*, et il n'y a pas, par conséquent, de glissement suivant cette section, c'est-à-dire que les circonférences du bandage et du faux bandage en se déformant sont restées normales à la même section, ou enfin que l'on a $\frac{de}{d\theta} = 0$ pour $\theta = \alpha$.

Considérons maintenant une section quelconque *gh* comprise entre *ab* et *cd*; l'équilibre de *abgh* exige que la force élastique normale à *gh* soit égale à E*p*$\cos(\alpha - \theta)$, et en égalant cette valeur à la première expression (2), on a pour tout le volume *abcd*,

$$(3) \quad -\lambda\Omega + \frac{\Omega\Gamma}{r}\ e + \frac{d^2e}{d\theta^2}) = p\cos(\alpha - \theta) - a\omega.$$

Pour obtenir le moment des forces élastiques de *ab* par rapport au point *k* où *gh* rencontre la ligne de joint du bandage, concevons que l'on transporte parallèlement à elles-mêmes, les composantes normales au point *c* où *ab* coupe la même ligne; il en résultera la force E*p* appliquée au point *c* dont le moment sera $-$ E*pr*$[\cos(\theta - \alpha) - \cos\alpha]$, et un couple dont le moment total ne sera autre chose que la valeur de la seconde expression (2) correspondant à $\theta = 0$; d'où il suit qu'en représentant par E*m* l'ensemble des termes constants introduits dans l'égalité établie entre la seconde expression (2), et la somme des moments ci-dessus, on a l'équation

$$(4) \quad -\lambda\Omega\Gamma + \frac{\mathrm{I}}{r}\left(e + \frac{d^2e}{d\theta^2}\right) = -pr\cos(\theta - \alpha) + m.$$

Des équations (3) et (4) on déduit

$$(5)\quad \Omega I_1\lambda = -p\cos(\alpha-\theta)(I+\Omega\Gamma r)+m\Omega\Gamma+aI\omega$$

$$(6)\quad \Omega I_1\left(e+\frac{d^2e}{d\theta^2}\right) = -p\cos(\alpha-\theta)\Omega(r+\Gamma)r+m\Omega r+a\Omega\omega\Gamma r.$$

L'intégrale de la dernière équation, eu égard à la condition $\frac{de}{d\theta}=0$ pour $\theta=\alpha$, est:

$$(7)\quad \Omega I_1 e = -\frac{p}{2}\Omega r(r+\Gamma)\left[(\alpha-\theta)\sin(\alpha-\theta)+M\cos(\alpha-\theta)\right]+$$
$$+m\Omega r+a\Omega\omega\Gamma r.$$

M étant une constante arbitraire.

A l'aide des équations (5) et (7), il nous sera facile maintenant de résoudre le problème que nous nous sommes proposé sur les roues des locomotives.

Calcul des fo[rces] qui agisse[nt] sur les différe[ntes] parties d'une r[oue] à rais rectilignes

Par le refroidissement du bandage, chaque rais s'est comprimé dans le sens de sa longueur (*); les molécules comprises dans les sections correspondantes de la jante et dans les sections bissectrices des angles de deux rais consécutifs, ne sont déplacées que dans leurs plans qui, eux-mêmes, n'ont subi aucun déplacement, et sont restés des plans de symétrie pour des segments adjacents.

Si l'on considère deux sections infiniment voisines symétriques par rapport à une section bissectrice, elles détermineront un élément de volume en équilibre sous l'action des forces élastiques qui leur correspondent; or les forces élastiques normales à ces deux sections ne donneront, suivant le rayon qui abou-

(*) Il arrive quelquefois que les rais s'infléchissent tous dans une même direction, mais nous n'avons pas à considérer ce cas dans lequel la pièce est défectueuse.

tit à l'une d'elles, qu'une composante infiniment petite qui devrait faire équilibre à la composante des deux forces de glissement, égale à leur somme, à un infiniment petit près; ce qui exige que chacune de ces dernières soit infiniment petite ou nulle. D'où résulte que pour les sections bissectrices le glissement est nul, ou que les circonférences leur sont restées normales.

Cela posé, admettons que, dans la figure, *ob* représente un des rais, *ocd*, *oc'd'* les deux sections bissectrices adjacentes, 2α étant ainsi l'angle de deux rais consécutifs.

Soient σ la section des rais, l leur longueur à partir du moyeu dont nous pouvons négliger la compressibilité; e_0 la valeur de e correspondant à *ab* ou à $\theta = 0$. La force élastique répulsive due à la compression du rais ou sera

$$E\sigma \frac{re_0}{l}$$

et comme le volume *cdc'd'* est en équilibre, ou que les deux forces Ep normales à *cdc'd'* font équilibre à la force élastique ci-dessus, il s'ensuit que

$$2Ep \sin\alpha = E\sigma r \frac{e_0}{l},$$

d'où

$$p = \frac{1}{2} \frac{\sigma r e_0}{l \sin\alpha}.$$

La force élastique de glissement suivant *ab* est par suite

$$\frac{1}{2} E\sigma r \frac{e_0}{l}$$

et le glissement correspondant, ou le complément de l'angle, que forme la circonférence $2\pi r$ déformée avec

le rayon ob, égal à $\frac{de}{d\theta}$ pour $\theta = 0$, a pour valeur

$$\frac{1}{2} G\sigma \frac{re_0}{l}.$$

Cette condition permet d'éliminer la constante M, et les équations (5) et (7) deviennent dès lors, en posant $K = \frac{\sigma r}{l}$,

$$(8)\quad \Omega I_1 \lambda = -\frac{Ke_0}{2\sin\alpha}\cos(\alpha-\theta)(I+\Omega\Gamma r) + m\Omega\Gamma + aI\omega$$

$$(9)\quad \Omega I_1 e = -\frac{1}{4}\frac{Ke_0}{\sin\alpha}\Omega r(r+\Gamma)\left[(\alpha-\theta)\sin(\alpha-\theta) + \right.$$
$$\left. + \left(1 + \alpha\cot\alpha - \frac{2GI_1}{\Omega r(r+\Gamma)}\cos(\alpha-\theta)\right]\right. + m\Omega r + a\Omega\omega\Gamma r.$$

Pour déterminer les inconnues e_0 et m, on exprimera d'abord que e_0 vérifie l'équation (9) ; la seconde équation s'obtiendra en exprimant que l'angle dob n'a pas varié par le serrage, ou que $\int_0^\alpha \frac{ds}{d\theta} d = r\alpha$. Or $ds = ds'(1+\lambda)$, $ds' = r(1-e)d\theta$; d'où il suit que

$$(9')\qquad \int_0^\alpha (\lambda - e)d\theta = 0.$$

On obtiendra ainsi la relation cherchée, en retranchant l'une de l'autre les équations (5) et (6), multipliant par $d\theta$, puis intégrant en ayant égard à la valeur de p et aux valeurs extrêmes de $\frac{de}{d\theta}$. On trouve ainsi

$$m = \frac{Kc_0}{2\alpha}\left[\frac{\Omega r^2 - I - GI_1}{\Omega(r-\Gamma)}\right] + \frac{a\omega(I - \Omega\Gamma r)}{\Omega(r-\Gamma')}.$$

D'autre part en négligeant $\frac{2GI_1}{\Omega r(r+\Gamma)}$ devant l'unité, on a

$$\Omega I_1 e_0 = -\frac{1}{4}\frac{Ke_0}{\sin\alpha}\Omega r(r+\Gamma)\left[\frac{\alpha}{\sin\alpha} + \cos\alpha\right] + m\Omega r + a\Omega\omega\Gamma r,$$

d'où

$$\frac{a\omega I_1}{\left(1-\frac{\Gamma}{r}\right)+\frac{K}{2}\left[\frac{\Omega r^2}{2\sin\alpha}\left(\frac{\alpha}{\sin\alpha}+\cos\alpha-\frac{2\sin\alpha}{\alpha}\right)+\frac{I+GI_1}{\alpha}-\frac{\Omega\Gamma^2}{2\sin\alpha}\left(\frac{\alpha}{\sin\alpha}+\right.\right.}$$

Enfin les équations (8) et (6) deviennent

$$(8'')\qquad \frac{\Omega}{\omega}.\frac{\lambda}{a}=\frac{1}{2}\frac{K}{D}\left[-\frac{\cos(\alpha-\theta)}{\sin\alpha}(I+\Omega\Gamma r)+\right.$$

$$\left.+\frac{\Gamma}{\alpha}\left(\frac{\Omega r^2-GI_1-I}{r-\Gamma}\right)\right]+\frac{r}{r-\Gamma}$$

$$(6'')\qquad \frac{\Omega}{\omega}\left(e+\frac{d^2e}{d\theta^2}\right)=\frac{a}{2}\frac{Kr}{D}\left[-\frac{\cos(\alpha-\theta)}{\sin\alpha}\Omega r(r+\Gamma)+\right.$$

$$\left.\frac{1}{\alpha}\frac{\Omega r^2-I-GI_1}{r-\Gamma}\right]+\frac{ra}{r-\Gamma},$$

en posant

$$D=\Omega I_1\left(1-\frac{\Gamma}{r}\right)+\frac{K}{2}\left[\frac{\Omega r^2}{2\sin\alpha}\left(\frac{\alpha}{\sin\alpha}+\cos\alpha-\frac{2\sin\alpha}{\alpha}\right)+\right.$$

$$\left.+\frac{I+GI_1}{\alpha}-\frac{\Omega\Gamma^2}{2\sin\alpha}\left(\frac{\alpha}{\sin\alpha}+\cos\alpha\right)\right].$$

Substituant ces expressions dans la formule (1), on aura la force élastique normale à l'élément $d\omega$, et il faut que son maximum par rapport à θ et ε, soit inférieur, non-seulement à la résistance à la rupture, mais encore à une fraction de cette résistance estimée en général à 1/6 pour avoir une sécurité complète. La plus grande tension élastique par millimètre carré ne devra pas, par conséquent, dépasser 10 kilogrammes; et l'on est ainsi conduit à l'égalité

Minimum. de

$$\frac{0{,}0005\,\frac{\Omega}{\omega}(r-\Gamma)}{\frac{K}{D}(\varepsilon-\Gamma)\left[\Omega r^2\left(\frac{1}{\alpha}-\frac{\cos(\alpha-\theta)}{\sin\alpha}\right)-\frac{I+GI_1}{\alpha}\right]+\frac{K}{2D}\frac{\cos(\alpha-\theta)}{\sin\alpha}[I_1 r-I\Gamma+\Omega}$$

$$+\varepsilon-\Gamma\frac{\Omega}{\omega}+r\left(\frac{\Omega}{\omega}-1\right).$$

Si l'on tient compte de la petitesse des dimensions transversales du cercle de la roue par rapport au rayon, on peut réduire cette inégalité à la suivante

$$\varepsilon = \text{Minimum.}\ \frac{0.0005.\frac{\Omega}{\omega}(r-\Gamma)}{\frac{K}{2D}(\varepsilon-\Gamma)\Omega r^2\left(\frac{1}{\alpha}-\frac{\cos(\alpha-\theta)}{\sin\alpha}\right)+\varepsilon-\Gamma+r\left(\frac{\Omega}{\omega}-1\right)}.$$

en prenant

$$D = \Omega I_1 + \frac{K}{4}\frac{\Omega r^2}{\sin\alpha}\left(\frac{\alpha}{\sin\alpha}+\cos\alpha-\frac{2\sin\alpha}{\alpha}\right).$$

Examen des cas où les rais sont très-rapprochés.

Supposons maintenant, comme cela arrive ordinairement, que les rais soient suffisamment rapprochés pour que l'on puisse négliger le cube des arcs α, $\alpha-\theta$, on aura

$$D = \Omega I_1$$

$$\varepsilon = \text{Minimum.}\ \frac{0{,}0005.\frac{\Omega}{\omega}(r-\Gamma)}{\left(\frac{\varepsilon-\Gamma}{\alpha}\right)\left[\frac{Kr^2}{4I_1}(\alpha-\theta)^2-\frac{\alpha^2}{6}\right]+r\left(\frac{\Omega}{\omega}-1\right)}$$

et l'on reconnaît facilement que l'on devra prendre pour a la plus petite des deux valeurs

$$\frac{0{,}0005\frac{\Omega}{\omega}(r-\Gamma)}{(\varepsilon'+\Gamma)\frac{\alpha}{6}+r\left(\frac{\Omega}{\omega}-1\right)}$$

$$\frac{0{,}0005\frac{\Omega}{\omega}(r-\Gamma)}{(\varepsilon''-\Gamma)\left[\frac{Kr^2}{4I_1}-\frac{1}{6}\right]\alpha+r\left(\frac{\Omega}{\omega}-1\right)}.$$

en représentant par ε', ε'' les portions du rayon limi-

tées d'une part par la circonférence de joint du bandage et du faux bandage, et de l'autre, respectivement par la circonférence intérieure du faux bandage et par celle qui passe par le sommet du boudin.

Il sera plus simple pour les calculs numériques de mettre les expressions précédentes sous une autre forme. En appelant $n = \frac{2\pi}{\alpha}$ le nombre des rais, et S la somme totale des sections des rais, on trouve

$$\frac{0{,}0005\,\frac{\Omega}{\omega}(r-\Gamma)}{(\varepsilon'+\Gamma)\frac{\pi}{3n}+r\left(\frac{\Omega}{\omega}-1\right)}.$$

$$\frac{0{,}0005\,\frac{\Omega}{\omega}(r-\Gamma)}{(\varepsilon''-\Gamma)\left[\frac{1}{2}.\frac{S}{n}.\frac{r}{l}.-\frac{1}{3}\right]\frac{\pi}{2}+r\left(\frac{\Omega}{\omega}-1\right)}.$$

et la plus petite de ces deux valeurs donnera la limite maximum de a.

Limite minimum du serrage. Pour que le serrage du bandage d'une roue motrice soit suffisant, il faut que le moment de l'action de la vapeur sur le piston par rapport à l'axe de rotation, soit inférieur à celui du frottement du bandage sur le faux bandage, dans l'hypothèse où il y aurait tendance au glissement.

Or si l'on considère un élément du bandage compris entre deux sections méridiennes infiniment voisines, la pression correspondante exercée normalement sur la surface extérieure du faux bandage sera égale au double du produit par $d\theta$ de la première des expressions (2) qui représente la force élastique normale aux sections du bandage, diminué de la différentielle de

la composante de glissement que nous désignerons par T'; on a ainsi

$$2\Gamma\Omega d\theta\left[-\lambda+\left(e+\frac{d^2e}{d\theta^2}\right)\frac{\Gamma}{r}+\alpha\frac{\omega}{\Omega}\right]-dT'.$$

Désignons par f le coefficient du frottement du fer sur lui-même, et intégrons depuis $\theta=0$ jusqu'à $\theta=\alpha$ le produit de l'expression ci-dessus par fr. Il vient en se rappelant que $T'=\frac{EK}{2}\frac{\omega}{\Omega}e_0$, $\frac{de}{d\theta}=\frac{G}{2}\frac{Ke_0}{\Omega}$, pour $\theta=0$, $T'=0$, $\frac{de}{d\theta}=0$, pour $\theta=\alpha$, et eu égard à la relation (9')

$$Ef\left[-2\Omega\left(1-\frac{\Gamma}{r}\right)\int_0^\alpha\lambda d\theta-\frac{1}{2}Ke_0\left(\frac{\omega}{\Omega}\alpha-\frac{G\Gamma}{r}\right)+2a\omega\alpha\right].$$

Le moment total du frottement sera donc, en multipliant par $2n$

$$Ef.\left[-4n\Omega\left(1-\frac{\Gamma}{r}\right)\int_0^\alpha\lambda d\theta-Ke_0\left(\frac{\omega}{\Omega}\pi-\frac{G\Gamma}{r}n\right)+4\pi a\omega\right].$$

or d'après la formule (8"), on a

$$\Omega\int_0^\alpha\lambda d\theta=a\omega\left[-\frac{KI_1}{D}+\frac{r}{r-\Gamma}-\frac{\pi}{n}\right].$$

Par suite l'expression précédente devient

$$4a\omega.Ef/r.\left[\pi-\frac{r}{r-\Gamma}\pi+\frac{I_1K}{D}\left(-\frac{\omega}{\Omega}\pi-\frac{G\Gamma}{r}n+n\right)\right].$$

Soient q le n° du timbre de la machine, A, A' les rayons du piston et de la manivelle; en négligeant l'obliquité de la bielle, le moment de l'effort maximum exercé par la vapeur est

$$\pi A^2.A'.103.10^3(q-1),$$

et en exprimant qu'il est inférieur au moment ci-

dessus du frottement, on trouve eu égard aux valeurs $E = 2.10^{10}$, $G = 2$.

$$a > \frac{\pi A' A^2 . 103}{8 . 10^8 f . \omega r \left[-\pi \frac{\Gamma}{r - \Gamma} + \frac{I_1 K}{D} \left(\frac{-\omega}{\Omega} \pi - \frac{G\Gamma}{r} n + n \right) \right]}$$

inégalité dans laquelle on pourra supposer $f = 0,20$.

Si les rais sont très-rapprochés on aura approximativement $D = \Omega l$, et en ayant égard à la petitesse des dimensions transversales du baudage, on trouve

$$a > \frac{\pi A' A^2 . 103}{18 . 10^7 \omega r \left[-\pi \frac{\Gamma}{r} + \frac{\sigma r}{\Omega l} \left(\frac{-\omega}{\Omega} \pi + n \right) \right]}.$$

Nous ne pensons pas que cette limite puisse être de quelque utilité pratique, et si nous l'avons indiquée, c'est uniquement pour faire voir la possibilité d'arriver à déterminer tous les éléments de la question.

NOTE

SUR LE LAMINOIR A TÔLE DE A. BÖRSIG, ÉTABLI A NEUSTADT.

Par M. LANGENHEIM, ingénieur.

(Extrait du *Berg-und Hüttenmannische Zeitung* de Freiberg (Saxe); traduit par M. COUCHE.)

De tous les laminoirs à tôle qui existent en Allemagne, celui-ci est le plus perfectionné, le mieux approprié à la fabrication des tôles de grandes dimensions que réclament la construction des chaudières à vapeur, des locomotives et des ponts métalliques.

Les cylindres (Pl. VI, *fig.* 2 et 3) ont $1^m,57$ de table et $0^m,60$ de diamètre; le diamètre des tourillons est de $0^m,34$. Cette grande dimension est un point essentiel, les cylindres à tôle se brisant assez souvent et toujours au collet. C'est aussi pour prévenir les accidents de ce genre que les tourillons se raccordent par des congés avec les cylindres.

Les arbres d'accouplement ont également une longueur inusitée, $1^m,88$. Elle a pour but de diminuer l'inclinaison que prend l'arbre lorsque le cylindre supérieur se soulève sous la pression du paquet, et de réduire les efforts que cette obliquité détermine dans l'arbre et dans les moufflettes.

Les coussinets des tourillons sont formés d'un alliage composé comme il suit : on fond d abord 15 p. de cuivre, $9\frac{1}{2}$ d'antimoine et 59 d'étain. 27 p. de cet alliage, refondues avec $29\frac{1}{2}$ d'étain, forment la composition des coussinets; elle donne de bons résultats. Les

paliers en fonte du cylindre supérieur sont traversés par des tringles en fer *s*, *s*, auxquels ils sont suspendus par des clavettes *pp*. Ces tringles buttent par le bas contre d'autres S', S' qui traversent la plaque fondation et qui, comme dans tous les grands laminoirs à tôle, s'appuient à la partie inférieure sur des leviers à contre-poids. Le cylindre supérieur est ainsi équilibré, et peut être soulevé avec la plus grande facilité.

A la partie supérieure, les tringles *ss* traversent le chapeau de la cage, puis l'entretoise B, sur laquelle elles s'appuient par leurs écrous, et qui s'appuie elle-même sur l'embase *d* de la vis S. Les deux vis de droite et de gauche reçoivent un mouvement commun de la la roue à poignées R, au moyen de deux engrenages coniques, qui permettent de régler ainsi les abaissements successifs du cylindre supérieur.

Le pignon *k* est solidaire avec la roue R', et fou sur l'arbre W. Dans l'état ordinaire des choses, le pignon *k''*, qui peut glisser sur l'arbre, embraye avec la roue d'angle K, et quand on agit sur la roue R, la roue K, recevant le mouvement de *k''*, fait tourner en même temps la roue R' et son pignon. Mais, s'il est nécessaire d'imprimer aux deux paliers des mouvements inégaux, il suffit de débrayer le pignon *k''*, et alors chacune des roues R, R', agit indépendamment de l'autre sur le palier voisin.

L'arbre de transmission W tourne dans des paliers *f*, *f*, terminés inférieurement par des boîtes qui coiffent les têtes des vis S, S, lesquelles y tournent librement.

Ces vis, en excellent fer à grains, avaient d'abord 0^m,13 de diamètre. L'expérience ayant prouvé que cette dimension était insuffisante, elle a été portée à 0^m,140. Les vis buttent à l'extrémité inférieure sur des crapaudines en acier fondu *g*, *g*, qui pressent elles-mêmes sur

une petite lame de fer, supportée seulement vers les bords, de sorte qu'en cas de pression excessive, cette lame fléchit légèrement et prévient la rupture des cylindres. On se servait d'abord, dans le même but, de petites plaques de fonte, mais elles se brisaient trop facilement.

Les tabliers consistent dans un châssis muni de petits rouleaux en fonte *r*, *r*, *r* sur lesquels les feuilles de tôle se manœuvrent avec une grande facilité.

Ces tabliers, suspendus par les tirants *n*, *n*, *n*, *n*, aux pièces de fer forgé *o*, *o*, sont guidés dans leur mouvement d'une part par le galets *p*, *p*, qui roulent sur des nervures *q* venues de fonte avec les cages, de l'autre par les galets supérieurs *g*, qui roulent entre les guides Q, Q. Des tasseaux en bois *x*, *x* servent de heurtoirs.

Les pièces *o*, *o*, sont supportées par la traverse U, U, qui reçoit la tige ρ d'un piston à vapeur ϖ. Le cylindre *s* est installé sur l'entretoise en fonte M, boulonnée sur les supports en tôle *u*, *u*, et ceux-ci sont rivés sur les contre-fiches V, V, clavetées dans les oreilles *ee* des chapeaux des cages.

L'introduction et l'échappement de la vapeur sont réglés par un robinet à trois fins N, manœuvré au moyen de la manivelle J, de la bielle F' et de la poignée C, guidée par le secteur G. L'ouverture Z sert à purger le cylindre de l'eau condensée.

Ce mode de manœuvre des tabliers a de grands avantages. Amenés au haut de leur course, ils conservent la position horizontale, ce qui facilite beaucoup le passage de la feuille de tôle au-dessus du cylindre.

Dans la plupart des grands laminoirs de Westphalie (tels que ceux de Hörde, d'Aplerbecke, société Blücher), les tabliers reçoivent un mouvement de rota-

tion au lieu d'un mouvement de translation ; la feuille de tôle s'élève alors sur un plan incliné, dont on peut réduire la pente en augmentant sa longueur, mais sur lequel la manœuvre est toujours difficile et lente. Or en pareille matière, toute perte de temps est grave; elle a pour effet ou d'exiger des chauffages plus nombreux, ou d'altérer la qualité de la tôle; sans compter que les trains fatiguent d'autant plus que la pièce est moins chaude.

CONSTRUCTION

DES DIGUES DANS LES USINES DES MONTS OURALS.

Par M. LANDSBERG,
ancien élève de l'École des mines, directeur des mines et usines du Stolberg (Prusse rhénane).

Rapprochem entre les grandes usi métallurgiq de l'occide de l'Europ et celles des monts Ou

Lorsqu'on compare dans leurs traits les plus généraux les usines métallurgiques des monts Ourals avec les grandes usines métallurgiques de l'occident de l'Europe, on remarque qu'elles diffèrent de celles-ci principalement par le combustible et la force hydraulique qu'elles emploient.

Dans l'occident, on n'a guère établi de grandes usines que dans les districts abordables à la houille : celle-ci y fournit tout à la fois la chaleur et la force. Dans les monts Ourals, au contraire, on emploie exclusivement le combustible végétal, et le mouvement des machines y est produit généralement par des chutes d'eau (1).

(1) Ces circonstances pourraient bien, dans un avenir plus ou moins rapproché, perdre de leur vérité absolue.

D'abord, en ce qui concerne le combustible, on a trouvé de la houille en plusieurs points, sur les deux versants de l'Oural, et déjà on emploie à Ekaterinenburg, sur le versant oriental de l'Oural, du coke pour la fusion de la fonte dans les cubilots.

Ensuite, en ce qui concerne la force motrice, on a commencé depuis une dizaine ou une quinzaine d'années à employer des machines à vapeur, et leur usage va se répandre d'autant plus que l'emploi des flammes et du gaz des fourneaux métallurgiques pour le chauffage des chaudières n'y est plus inconnu. Il y a en plein Oural une usine de puddlage et de laminage qui chauffe les chaudières au moyen de la flamme perdue des

Circonstances qui ont amené dans les monts Ourals la construction de grandes usines au charbon de bois, contrairement à ce qui s'est passé dans l'Occident.

Les usines métallurgiques de l'Oural se trouvent sous ce rapport dans les mêmes circonstances que la plupart de nos usines au charbon de bois; mais tandis que chez nous l'emploi du combustible végétal et de la force hydraulique n'a provoqué que la création de petits hauts-fourneaux et de feux d'affinage isolés, de grandes usines métallurgiques se sont développées dans les monts Ourals à côté de hauts-fourneaux qui, tant en grandeur qu'en production, ne le cèdent en rien à nos hauts-fourneaux au coke; on y a établi des halles d'affinage contenant plusieurs douzaines de foyers et de marteaux, et plus tard, lorsque les méthodes modernes de fabrication de fer se sont introduites en Russie, on y a construit des usines de puddlage et de laminage pareilles à nos grandes usines à la houille. Ailleurs on a établi une batterie de cinquante hauts-fourneaux pour le traitement des minerais de cuivre.

Plusieurs circonstances expliquent cette différence. Dans l'occident, les frais de transport sont plus considérables que dans les monts Ourals, où les chemins de neige offrent une ressource inconnue chez nous. Dans l'occident, les usines ont dû se disperser dans les forêts pour se rapprocher du combustible, tandis qu'en Russie on apporte par traînage, en hiver, de près et de loin, le charbon aux usines (1).

A l'époque où l'on fondait, dans l'occident, les usines

---

fours à réverbère; ailleurs, la flamme des fourneaux à cuivre produit le mouvement du ventilateur qui alimente ces fourneaux; et tout récemment on a commencé à employer le gaz des hauts-fourneaux à fonte pour activer des machines soufflantes.

(1) Le transport par charrette est dans l'occident ordinairement trois fois plus cher que le transport par traînage en Russie.

au charbon de bois, la consommation des produits était généralement locale ; on disposait les usines en vue de se rapprocher des consommateurs. Dans l'Oural, au contraire, on fabrique presque exclusivement pour un marché éloigné de 300 à 400 lieues et davantage (1), et dans le choix de la localité pour l'établissement des usines on ne tient, par suite, aucun compte de quelques lieues de plus ou de moins.

D'autres circonstances encore ont concouru à la concentration des usines. L'hiver dans ces contrées est tellement long et rigoureux que la totalité de l'eau gèlerait chaque année si on la recueillait dans de petits étangs, comme cela se fait ordinairement chez nous. La distance du marché oblige à donner la préférence à quelques gîtes de minerai de première qualité, afin que le produit puisse payer les frais de transport; de là, tendance à se concentrer autour des gîtes de cette nature. La distribution de ces gîtes de minerai telle qu'elle se présente dans les monts Ourals, la forme des montagnes et le cours des rivières qui y prennent naissance, enfin l'époque de la fondation des usines des monts Ourals, toutes ces circonstances n'ont pas été sans influence sur la concentration des usines.

Circonsta qui ont a l'établisse de grands dans les monts O

Il pleut rarement dans les monts Ourals; les mois qui correspondent à notre printemps et à notre été sont ordinairement secs; vers l'approche de l'hiver il tombe plus ou moins d'eau; puis, au commencement de l'hiver, il tombe une grande quantité de neige qui couvre

(1) Le marché principal pour la consommation intérieure de la Russie est Nijni Novgorod, ville éloignée de 1.200 à 1.500 kilomètres des usines importantes de l'Oural, et le marché principal pour l'exportation est Saint-Pétersbourg, située encore à 1.000 kilomètres plus loin.

tout le pays. Au commencement de l'été cette neige fond, et l'eau qui en résulte remplit les ravins et grossit les ruisseaux. Cette eau constitue la force motrice principale dont les usines disposent; elles sont obligées de l'emmagasiner pour toute l'année.

Lorsqu'il s'agit d'établir une usine dans les monts Ourals, on doit s'appliquer, avant tout, à y former un étang assez vaste pour recevoir la presque totalité de l'eau que les diverses roues hydrauliques exigeront pendant l'année entière pour leur mise en mouvement. A cet effet, on choisit sur une rivière un endroit déjà assez éloigné de la source et où la rivière a déjà reçu plusieurs affluents; on cherche même un point qui puisse recevoir aussi l'eau d'une ou de plusieurs rivières voisines. Le district des usines constitue un pays montagneux, mais qui cependant n'offre pas ordinairement les côtes abruptes des montagnes de l'Europe centrale; les rivières n'y ont pas en général un cours torrentiel, et l'on trouve facilement des endroits où elles sont bordées de deux côtés par des pentes peu inclinées qui se prêtent à l'établissement de vastes étangs. Le seul travail à faire, c'est de barrer le vallon du côté d'aval par la construction d'une digue.

Pendant un voyage métallurgique de quelques mois que j'ai fait en Russie, j'ai eu l'occasion de voir un grand nombre de digues; j'en ai profité pour recueillir quelques documents qui sont loin d'être complets; mais tels qu'ils sont ils peuvent cependant offrir de l'intérêt pour les personnes qui s'occupent de constructions analogues; ils peuvent aussi donner une idée de l'un des traits caractéristiques des usines de l'Oural aux personnes qui s'occupent de métallurgie en général.

rtance igues. Lorsqu'on voyage dans les monts Ourals on longe quelquefois pendant des heures entières des étangs à

perte de vue sans rencontrer âme qui vive; mais tout à coup on se trouve près de la digue de l'étang : là tout change d'aspect. La digue est la voie de communication entre les deux côtés du vallon; la plupart des arrivages pour l'usine se font par là. Derrière la digue, il y a l'usine avec ses marteaux, ses feux et ses nombreuses cheminées en tôle; il y a la scierie, annexe indispensable de toute usine de quelque importance, les dépôts de charbon de bois et d'objets de toute nature. Les étangs ont quelquefois l'étendue de nos grands lacs, plusieurs lieues de longueur sur une lieue de largeur et davantage. Les digues ont souvent quelques kilomètres de longueur; leur largeur est telle qu'on a pu y établir en quelques endroits des ateliers et de grands dépôts de minerai, de bois d'œuvre et d'autres matières de construction.

Difficulté de la construc des digues. Details sur l'établissem des fondati pour les construct important dans les monts Ou

La construction d'une digue d'aussi grandes dimensions offre toujours des difficultés. On sait que la moindre infiltration suffit souvent pour faire céder une digue (1).

Dans les monts Ourals, cette construction offre encore une difficulté exceptionnelle provenant du climat rigoureux du pays : difficulté qui se présente, du reste, dans toutes les autres constructions importantes de ce district. La température descend souvent au point de la congélation du mercure, et l'effet du froid est d'autant plus intense que l'hiver y dure presque huit mois. Toute la terre gèle jusqu'à quelques pieds au-dessous de la surface; un sol qui présente assez de solidité pour que dans nos climats on puisse hardiment y éta-

(1) La rupture des digues dans l'Oural est rare grâce à la grande expérience qu'on y a acquise dans ce genre de constructions.

blir des constructions, n'offre plus la même garantie dans les monts Ourals. Dans ce pays, pour qu'une construction soit bien établie, il faut faire pénétrer ses fondations assez profondément dans le sol pour que le froid n'en atteigne pas la base. On établit donc toute construction qui doit avoir de la durée sur des pilotis enfoncés assez bas pour que le dégel ne puisse les atteindre.

Pour un mur d'usine devant avoir, par exemple, 0m,80 d'épaisseur, on dispose les fondations de la manière suivante (Pl. V, *fig.* 1, 2 et 3). On enfonce deux rangées parallèles de pieux en laissant une distance de 0m,65 à 0m,70 d'axe en axe des deux rangées et d'autant d'axe en axe de deux pieux consécutifs de la même rangée. Ils sont taillés en pointe à leur partie inférieure; on a exposé cette pointe pendant quelques instants au feu, et on l'a munie d'un sabot en fer à deux ou trois branches comme on le fait chez nous. On les enfonce avec des moutons de 700 à 1.300 kilog.; la plus grande levée est de 6 mètres. Pour un pilotis de mur ordinaire on donne, dans un sol de résistance moyenne, 30 coups par pieu et en n'élevant le mouton qu'à 3 ou 4 mètres. Lorsqu'il s'agit d'une fondation devant supporter un laminoir, le refus est de 0m,05 par volée de 20 coups. Il doit être de 0m,01 au plus pour les pieux destinés à recevoir un gros marteau de forge. On enfonce en moyenne, pour les constructions solides, 6 pieux en 12 heures.

L'appareil ordinaire pour l'élévation du mouton est une espèce de manége à quatre bras desservi par vingt ouvriers.

On emploie pour les pieux du bois de mélèze. A l'exception de sa partie méridionale, l'Oural ne produit que des bois résineux, et parmi ces bois c'est le

mélèze qui offre le plus de résistance. On s'en sert de préférence pour le soutenement des galeries des mines, pour les radeaux devant supporter des machines, etc. Cependant, comme le mélèze commence à devenir rare, on lui substitue souvent le pin et le sapin pour les constructions d'une moindre importance.

Après qu'on a enfoncé tous les pieux, on arase exactement leur surface, puis on les prépare à recevoir le chapeau.

Chaque chapeau doit rendre solidaires entre eux les deux pieux qui se correspondent dans les deux rangées. A cet effet, on taille leurs têtes en forme de tenon sur une hauteur égale à l'épaisseur des traverses; on pratique des mortaises analogues dans celles-ci, puis on consolide cet emboîtement en chassant de longs coins de bois dans la tête des pieux.

Quelquefois, avant de poser les chapeaux sur les pieux, on garnit ceux-ci immédiatement au-dessous du tenon d'une frette en fer afin de les empêcher de se fendre, et en même temps pour présenter à la traverse un point solide d'arrêt. Ces frettes se posent à chaud.

Cela fait, on assemble toute la série des pieux au moyen de longrines juxtaposées et recouvrant les chapeaux auxquels on les assemble par des entailles à tiers ou à quart de bois, et au moyen de chevilles en bois. Lorsqu'il s'agit d'une construction importante, on place les longrines jointives; pour un mur de moindre importance, on peut laisser un certain écartement entre elles.

On dérase exactement le radeau ainsi formé; à mesure qu'on a posé le bois, on a soin de le goudronner.

La surface supérieure du radeau se trouve à peu près à 1 mètre au-dessous du niveau du sol. On y établit alors de la maçonnerie ou mieux du béton, et ensuite

de la maçonnerie; puis, arrivé au niveau du sol, on construit le mur.

Pour un mur de $0^{m},80$ d'épaisseur, il suffit de donner au radeau et à la maçonnerie de fondation 1 mètre de largeur. Pour un mur de 1 mètre d'épaisseur, on donne au radeau $1^{m},20$ à $1^{m},30$. Lorsqu'il s'agit d'un mur plus épais et d'une charge considérable, on met trois rangées parallèles de pilots et l'on réunit les pilots trois à trois par des traverses qu'on recouvre ensuite de longuerines.

Ces observations s'appliquent aux constructions en général; elles trouvent aussi leur application dans la construction des digues, comme on le verra plus bas.

ruction digue terre.

On distingue dans une digue deux parties :

1° La digue proprement dite, en terre;

2° Les prises d'eau.

La longueur d'une digue est déterminée par les circonstances locales; on a déjà dit qu'elle est quelquefois d'un et même de plusieurs kilomètres. Les dimensions de sa section transversale dépendent essentiellement de la hauteur d'eau. Dans les digues d'une longeur peu considérable, comme celles qu'on fait généralement chez nous, de cette longueur est un des éléments qui influent sur la détermination de la section transversale ; dans les digues de l'Oural on n'en tient pas compte ; en effet, leur longueur est telle qu'on doit la considérer comme infinie par rapport à la section transversale.

La hauteur à laquelle on élève l'eau derrière la digue ne peut pas être prise arbitrairement; il est évident qu'elle dépend de la configuration du terrain, de la quantité d'eau qu'on veut accumuler et de celle dont on veut réellement faire usage. La hauteur moyenne dans les monts Ourals est de $2^{m},80$; elle est souvent

moindre, quelquefois beaucoup plus grande. Pour 2^{m},80 de hauteur d'eau, on donne à la digue elle-même à peu près 3 mètres de hauteur, et une largeur à la base égale à trois fois la hauteur, soit 9 mètres pour une hauteur de 3 mètres.

Sur la moitié de cette largeur et du côté de l'eau, on fait une excavation dans le sol jusqu'à ce qu'on ait atteint un fond non sujet aux infiltrations; on substitue à la terre perméable enlevée, de la terre végétale argileuse ou mieux de l'argile qu'on dame soigneusement, puis on élève la digue.

Celle-ci se fait en bonne terre végétale; on lui donne une section trapézoïdale. Du côté de l'eau, son inclinaison sur l'horizon n'est jamais au-dessous de 45°; du côté opposé on peut lui donner la même inclinaison; mais pour les digues élevées, elle est ordinairement plus forte, et le talus est garni d'un revêtement en maçonnerie; quelquefois on pratique de ce côté une banquette (*fig.* 4).

On dame la digue soigneusement, couche par couche; du côté intérieur on y place horizontalement des fascines, paquets de branchages d'arbres résineux et de jeunes arbres qui ne manquent nulle part dans l'Oural.

Une digue de 2 kilomètres de longueur, ayant la section indiquée et des fondations de 2 mètres de profondeur, exige à peu près 55.000 mètres cubes de terre. En admettant qu'on prenne cette terre en moyenne à 4 kilomètres de la digue, on peut évaluer qu'il faut pour l'extraction, le transport et la mise en place: 100.000 journées d'ouvriers, et 180.000 journées de chevaux.

En employant 300 ouvriers et 500 chevaux, il fau-

drait pour la construction de cette digue à peu près 300 jours de travail, c'est-à-dire plus qu'un seigneur russe n'est en droit d'exiger par an de ses ouvriers.

Le bon choix de la terre, la surveillance donnée à son damage et à la pose des fascines sont des conditions indispensables pour la réussite de la digue en terre.

ensions
ises d'eau.

Les prises d'eau ont pour but de laisser passer l'eau accumulée derrière la digue pour l'amener aux roues hydrauliques, et de donner un écoulement à l'excédant d'eau qu'on ne veut pas conserver dans l'étang. Les prises d'eau exigent des quantités considérables de bois et un travail très-soigné; elles sont par suite très-coûteuses, et sous ce rapport, de même que sous celui de la solidité de la digue, il est important de ne pas les faire trop larges; mais, d'un autre côté, il faut qu'elles puissent donner issue, une fois l'étang rempli, à toute l'eau qui pourrait survenir.

L'ouverture à donner à la somme des prises d'eau de chaque digue dépend donc de circonstances locales qu'on doit connaître par une étude préalable. Du reste, ici comme en beaucoup d'autres questions dont la solution offrirait de nombreuses difficultés d'observation, on échappe ordinairement à la complication en se laissant guider par des analogies.

Une digue peut avoir une seule prise, ou une pour chaque roue hydraulique; mais pour une grande usine cette seconde combinaison est énormément coûteuse. Lorsque la disposition de l'usine le permet, on ne fait qu'une seule prise d'eau, qu'on subdivise en plusieurs compartiments, dont l'un, le plus grand ordinairement, sert pour l'écoulement du trop plein et pour la vidange de l'étang; les autres amènent l'eau aux roues hydrauliques des diverses parties de l'usine. Lorsqu'il

y a au pied d'une digue plusieurs usines assez écartées l'une de l'autre, on est bien obligé d'y pratiquer plusieurs prises d'eau afin d'éviter les conduites d'eau d'une trop grande longueur. On remarque souvent, à quelque distance de la grande prise d'eau de l'usine métallurgique, une petite prise pour l'alimentation de la scierie ou de quelque autre atelier accessoire. Souvent aussi il y a deux prises d'eau, dont une pour l'usine et l'autre pour le trop-plein : mais la disposition économique est généralement d'avoir une prise d'eau unique.

Une prise d'eau (*fig.* 5 à 13) se compose d'une conduite avec son vannage, et d'une construction qui donne de la stabilité à cette conduite et la rattache à la masse de la digue en terre. Une telle construction se trouve de chaque côté de la conduite; elle forme les ailes ou les contre-forts de la prise d'eau.

Soit à construire une prise d'eau pour la digue de 3 mètres de hauteur déjà choisie comme exemple. Supposons une largeur de vannage de 5 à 6 mètres; on tient assez à donner aux vannes une largeur de 1^m,42 (2 aunes ou archines russes); on disposera 4 vannages juxtaposés de 1^m,42 de largeur chaque (*fig.* 8, 9, 10); deux de ces vannages correspondront à la conduite d'eau de l'usine et fourniront l'eau aux roues hydrauliques; les deux autres donneront issue au trop plein de l'étang et conduiront l'eau dans un canal de fuite. En tenant compte des entre-deux des vannages, on aura pour le conduit une largeur de 7^m,17. On donnera à chaque contre-fort une largeur de 5 mètres, et l'on aura ainsi une largeur totale de 17 mètres à peu près pour les constructions occupées par la prise d'eau. La longueur de ces constructions sera égale à la largeur de la digue, c'est-à-dire à 9 mètres.

Dimensions principales d'une prise d'eau choisie comme exemple.

En faisant la digue en terre on a soin de ménager

un vide ayant les dimensions indiquées pour l'emplacement de la prise d'eau.

[Co]nstruction [des] fondations du seuil [des] vannages.

Avant d'établir les constructions, on doit déterminer à quelle hauteur au-dessus du pied de la digue on veut établir le seuil des vannages. Tout ce qui se trouvera au-dessous de ce niveau formera le réservoir pour le dépôt des grosses pierres et de la vase qu'amènera l'eau à la prise d'eau. On peut se proposer de placer le seuil à $0^m,40$ au-dessus du fond.

On commence en suivant les règles déjà indiquées, c'est-à-dire qu'on place sur toute l'étendue que la prise d'eau et ses contre-forts devront occuper un radeau établi sur pilotis. La disposition de ce radeau et la distribution des pilotis sur le terrain dépendront des conditions spéciales qu'aura à remplir la construction qui leur sera superposée. Voici comment on procède :

Au milieu de la largeur du vide ménagé dans la digue en terre, et parallèlement à la direction de la digue, on établit au dessous du niveau du sol un mur en pilots jointifs (*a*, *fig.* 5, 6, 7, 11 et 12), s'étendant sur toute la longueur de 17 mètres. Les pilots qui composent ce mur doivent avoir 20 à 25 centimètres d'épaisseur; ils doivent être bien dressés et assemblés à rainures et languettes (*fig.* 6); la largeur de la languette doit être un quart de l'épaisseur du bois ; sa longueur peut être de 7 à 10 centimètres. Les pilots doivent être enfoncés comme des pieux ordinaires; seulement, au lieu d'être taillés en pointe, ils sont à pan coupé (*fig.* 12), l'arête se trouvant du côté de la languette, ce qui facilite l'emboîtement.

Pour maintenir les pilots dans la position verticale pendant qu'on les enfonce, on commence par former un cadre pour les diriger. Ce cadre consiste en deux longrines embrassant l'espace réservé au mur de pilotis;

elles sont réunies à leurs extrémités par des traverses et maintenues par quelques pilots enfoncés de part et d'autre du cadre.

La longueur des pilots qui doivent former le mur jointif est de 3 mètres au moins ; dans un mauvais terrain, on peut être obligé de leur donner une longueur bien plus considérable. Quand on les a enfoncés et égalisés, le sommet du mur jointif doit être à peu près de $0^m,30$ au-dessous du niveau arrêté pour le seuil des vannages. On entaille ensuite la tête des pilots sur $0^m,15$ de hauteur et de manière à réduire leur largeur à la moitié ou au tiers ; par l'espèce de tenon ainsi formé sur toute la longueur du mur, les pilots doivent s'emmancher dans la poutre du seuil des vannages, comme on le dira plus loin.

A une distance de $0^m,73$ du mur en pilots jointifs (distance mesurée d'axe en axe), on établit de chaque côté de ce mur un rangée de pilots isolés *b*,*b* (*fig.* 7, 8, 11) ; on leur donne une position telle que dans la construction achevée ils supportent les montants qui guident les vannages et les autres montants principaux de la construction établie sur le radeau. Ces pilots doivent avoir $0^m,25$ à $0^m,30$ de diamètre et être enfoncés jusqu'au bon sol. On les arase de niveau avec les joues des tenons de ceux qui constituent le mur jointif, c'est-à-dire à $0^m,15$ au-dessous du sommet de ce mur. On taille leur tête en forme de tenon comme on a fait pour les autres, mais on donne ici au tenon $0^m,25$ à $0^m,30$ de hauteur : puis on réunit les têtes de tous les pilots de l'une et de l'autre des deux rangées au moyen d'une longrine *c* (*fig.* 7, 8 et 11) munie d'entailles qui emboîtent exactement les tenons des pilots, et on consolide l'emboîtement au moyen de longs coins en bois chassés dans la tête des pilots. Les lon-

grines ont 0^{m},25 à 0^{m},30 de hauteur et 0^{m},30 à 0^{m},35 de largeur.

Les deux longrines dont il vient d'être question doivent affleurer exactement l'épaulement des tenons du mur jointif. C'est à ce niveau qu'on établit alors la longrine qui forme le seuil des vannages.

lssement
seuil
annages.

Cette longrine *d* (*fig.* 7, 8, 10, 11 et 12) est une pièce extrêmement importante : on la place avec les plus grands soins. Elle se compose de trois poutres juxtaposées, ayant chacune 17 mètres de longueur (chacune formée d'une seule pièce ou de plusieurs pièces solidement assemblées) ; les dimensions de la poutre du milieu sont de 0^{m},53 de largeur et 0^{m},45 de hauteur ; les deux parties latérales ont chacune 0^{m},40 de largeur et 0^{m},35 de hauteur, de manière que les trois poutres réunies font une largeur totale de 1^{m},33 ; elles s'affleurent par leurs surfaces inférieures, la poutre du milieu est donc en saillie de 0^{m},10 sur les deux poutres latérales. Celles-ci portent sur toute leur longueur une languette de 0^{m},12 de hauteur et 0^{m},10 de largeur, qui doit s'emboîter très-exactement dans des rainures pratiquées dans la pièce du milieu (*fig.* 11). Ces trois pièces sont ajustées avec le plus grand soin sur toutes leurs faces ; puis, au moment de les assembler, on introduit du feutre enduit de goudron ayant une épaisseur de 4 à 5 millimètres dans les joints des trois pièces, et on en applique de même sur toute la surface par laquelle elles doivent reposer sur le mur jointif et les longrines des pilots isolés. On les réunit enfin au moyen d'une série de boulons de 6 centimètres de diamètre dont on serre fortement les écrous. Quand on a mis la longrine en place, la face supérieure de la poutre du milieu doit se trouver au niveau arrêté d'avance pour le seuil des vannages : c'est elle qui forme

ce seuil. On assemble la longrine au mur jointif qui la supporte, comme on le verra plus loin.

Le mur à poutres jointives partage la largeur de la place laissée pour les fondations de la prise d'eau en deux parties sensiblement égales. La partie la plus éloignée de l'eau doit satisfaire principalement à la condition de supporter la charge qu'on aura à lui imposer. Sa construction n'offre aucune difficulté. On y enfonce plusieurs rangées de pilotis (*e*, *fig*. 7) parallèles à la direction de la digue ; la distance de ces rangées d'axe en axe peut être de $1^m,30$ à $1^m,50$. On les arase de $0^m,10$ au-dessous du seuil des vannages, puis on les taille en forme de tenon sur $0^m,30$ de hauteur et l'on réunit les pilots d'une même rangée au moyen de longrines *f* (*fig*. 7 et 8) de 17 mètres de longueur. Le radeau de ce côté-ci du mur jointif n'attend plus alors que le plancher pour être achevé.

Achèvement du radeau des fondations

Vers l'amont, les fondations n'auront pas seulement à supporter la charge de l'eau, il faut encore qu'elles résistent à l'affouillement. Pour remplir cette condition, on enlève la terre sur une certaine profondeur, soit sur 2 mètres, jusqu'à ce que l'on ait atteint le bon fond ; cette excavation *g* (*fig*. 7) doit être remplie de bonne terre ou mieux d'argile, après qu'on aura achevé le radeau. On enfonce dans cette partie de la prise d'eau des pilots *h*,*h* (*fig*. 7 et 9) comme du côté opposé ; seulement ici on les tient en contre-bas des autres, car, avant de recevoir les longrines, ils doivent être assemblés par des traverses qui sont nécessaires pour empêcher les pilots de dévier par la poussée de la terre pendant qu'on la dame dans l'excavation, et, plus tard, par la poussée de l'eau. Les têtes de ces pilots, en outre, ne doivent pas se trouver dans un plan horizontal ; ce plan doit être incliné, du seuil des

sement tre-forts la d'eau.

Après avoir ainsi préparé le radeau et le canal d'eau, on met en place la charpente des contre-forts qu'on a confectionnée d'avance. Dans la partie centrale du radeau, on a établi la tête d'eau; il reste de chaque côté un espace d'à peu près 5 mètres de longueur : la charpente des contre-forts doit remplir cet espace.

La charpente d'un contre-fort forme un cadre dont la section horizontale serait rectangulaire si le conduit d'eau était lui-même rectangulaire; elle s'écarte un peu de cette forme par suite de l'élargissement donné au conduit d'eau du côté de l'entrée de l'eau (*fig.* 10). Le cadre consiste en des murs jointifs consolidés par plusieurs murs transversaux (*fig.* 8, 9 et 10). Les murs sont composés de poutres superposées (*o*, *fig.* 8, 9 et 10) placées horizontalement; pour deux murs en contact, les joints horizontaux alternent de manière qu'un joint de l'un des murs correspond au milieu de deux joints de l'autre. L'assemblage se fait à mi-bois. On emploie des poutres quarrées ou des poutres rondes; dans l'un et l'autre cas, on les ajuste bien l'une sur l'autre, et après la pose on remplit leurs interstices d'étoupes.

La charpente de chaque contre-fort constitue ainsi une masse solidaire; il s'agit d'y assembler solidement la conduite d'eau. A cet effet, on y fixe les montants extrêmes des vannages et les autres montants disposés dans les parois du conduit d'eau et reliés aux premiers soit par des moises, soit par des croix de Saint-André (*fig.* 7).

L'assemblage se fait au moyen d'une espèce de queue d'hironde régnant sur toute la hauteur des montants, et en outre au moyen de longues chevilles en fer, auxquelles on peut substituer avec avantage des boulons.

héiage la d'eau.

Après avoir placé les contre-forts et les montants qui s'y assemblent, on peut procéder au planchéiage

du canal. Le fond, les parois verticales et les cloisons qui séparent entre eux les conduites des roues hydrauliques et du trop-plein reçoivent un plancher.

Les madriers (*fig.* 7, 8, 9, 10 et 11) qu'on y emploie ont 0m,10 d'épaisseur. Il faut les réunir avec les plus grands soins. On les pose en les entaillant à mi-bois sur 0m,06 à 0m,10 de largeur et de manière à établir entre eux le contact le plus intime. Pour le fond, on commence par poser les madriers des angles, qui sont eux-mêmes angulaires (*fig.* 8); puis on pose les madriers voisins en les rapprochant des premiers à coups de maillet. Après avoir posé un madrier, on fixe contre lui des crochets en fer dans les longrines du radeau, on chasse entre ces crochets et le madrier des coins pour le serrer avec la plus grande force contre le madrier d'angle, puis on le fixe dans la position où on l'a amené au moyen de chevilles en bois qui s'assemblent au radeau. On arrache les crochets, on pose un nouveau madrier et on le rapproche de la même manière du précédent.

Quand une partie de plancher est posé, on le calfeutre à l'étoupe.

Les madriers des parois verticales se posent d'une manière analogue.

On place sur le plancher du fond de grosses pierres *r* (*fig.* 7), afin que celles que l'eau peut amener ne puissent endommager le plancher et le vannage. On dispose en outre un plancher qui avance dans l'étang *s* (*fig.* 7), et on y met des blocs de pierre de dimensions considérables *t* (*fig.* 7), en les arrangeant de manière à ce qu'ils occupent toute la largeur du conduit d'eau et qu'ils s'étendent même à quelques mètres au delà le long des contre-forts. Ces pierres ont un but analogue à celles du plancher.

vement tre-forts. Quand les parois verticales du conduit d'eau sont planchéiées, les contre-forts de la prise d'eau forment un compartiment fermé. On le remplit avec de l'argile *u* (*fig.* 8 et 10) qu'on dame soigneusement. On bouche de même avec les plus grands soins et au moyen d'argile l'espace compris entre les madriers et les divers montants qui assemblent le conduit d'eau aux contre-forts, et l'espace compris entre ces derniers et la digue en terre.

truction pont. En même temps, on fait le pont de la digue. Ce pont forme la continuation de la chaussée de la digue par-dessus la prise d'eau. Son établissement n'offre aucune difficulté, car on trouve aisément sur le radeau le nombre de points d'appui nécessaire.

osition vannes. On peut alors poser les vannes (*v* et *v'*, *fig.* 7, 9 et 10). On distingue les vannes *v* qui fournissent l'eau aux conduits des roues hydrauliques, et les vannes *v'* qui laissent écouler le trop-plein ou qui servent pour vider l'étang.

Les unes et les autres ont ordinairement une largeur de $1^m,42$, comme on a déjà eu l'occasion de le dire; mais leur hauteur et leur disposition diffèrent.

Le vannage *v* qui admet l'eau dans le canal des usines consiste en une vanne de fond, unique, ayant de $1^m,42$ à $1^m,80$ de hauteur. L'espace qui, au-dessus de la vanne, sépare les deux montants de vannage consécutifs est fermé au moyen de madriers jointifs calfeutrés. Lorsqu'on veut admettre l'eau dans le canal des usines, on soulève la vanne qui est munie à cet effet d'une forte tige en bois *x* (*fig.* 7, 9 et 10) percée de trous de distance en distance dans sa partie supérieure. Pour soulever la vanne, plusieurs ouvriers, placés sur le pont, introduisent une barre en bois dans l'un des trous de la tige qui se trouvent au-dessus

de la poutre transversale, et en appuyant une extrémité de la barre sur cette poutre ils soulèvent la vanne, et la maintiennent dans cette position. Si un seul mouvement ne suffit pas, on retire la barre du trou supérieur et on l'introduit dans le trou qui se trouve immédiatement au-dessous.

Dans les prises d'eau d'une construction plus moderne, on a simplifié la manœuvre en fixant sur la vanne des tiges en fer qu'on manie comme chez nous au moyen d'une crémaillère et de roues d'engrenage (*fig.* 20).

Les vannages *v'* qui laissent écouler le trop-plein ou qui servent à vider l'étang occupent toute la hauteur de la digue. Ils se composent de deux ou de plusieurs vannes superposées; dans l'exemple que je décris il y en a deux: elles sont disposées de manière à pouvoir glisser l'une sur l'autre. Ordinairement on fait la vanne inférieure moins haute que la vanne supérieure. Lorsqu'il s'agit de vider le trop plein, on laisse écouler l'eau par-dessus la vanne supérieure, en déversoir, ou bien encore entre les deux vannes. Lorsqu'il s'agit de vider complétement l'étang, on ouvre le vannage sur toute sa hauteur. On commence par retirer la vanne supérieure, et lorsqu'il y a plusieurs vannes superposées, celle du fond est retirée la dernière. Les vannes sont manœuvrées comme celles du conduit des usines.

Avec la pose des vannes, la construction de la digue se trouve achevée. Je ne puis cependant quitter ce sujet sans dire quelques mots des conduites qui partent de la prise d'eau.

Canaux emmènen du trop- et qui v l'étan

Les canaux qui emmènent l'eau de trop-plein et qui vident au besoin l'étang jusqu'au fond sont ordinairement de grandes conduites ayant toute la hauteur de la

iations dans istruction des s d'eau.

Les détails de la construction d'une prise d'eau, à partir du radeau jusqu'aux conduites d'eau, une fois établis, on comprendra aisément les variations que les circonstances peuvent y introduire. J'en citerai quelques-unes.

Il arrive quelquefois qu'on a affaire à un sol perméable et qu'on ne trouve pas dans les environs de terre argileuse à substituer au sol naturel. Dans ce cas on est obligé de rendre le radeau plus imperméable en y faisant plusieurs murs longitudinaux en madriers jointifs superposés ; on réunit ces murs extérieurs par des murs transversaux, jointifs eux-mêmes, et on divise ainsi tout le terrain en compartiments entourés de murs imperméables. On fait porter les murs jointifs sur des pilots qui doivent être jointifs eux-mêmes lorsque le sol est perméable. On remplit du reste les compartiments de la meilleure terre que les environs fournissent. Lorsque le rocher se trouve à une faible distance au-dessous du fond de la digue, on peut le mettre à nu sur toute la largeur de la prise d'eau et y disposer directement des murs jointifs en poutres juxtaposées pour servir de fondation au radeau.

On peut quelquefois économiser du bois dans la construction des contre-forts, pour une prise d'eau n'ayant que $1^{m},40$ de hauteur, par exemple, on pourra remplacer la charpente massive des contre-forts par de simples contre-fiches disposées entre les montants et les longrines du radeau. Il vaudra toutefois mieux, même pour cette faible hauteur de la digue, employer du côté de l'étang une charpente massive se prolongeant jusqu'à l'alignement des vannages ; au delà de cet alignement, on peut sans crainte employer les contre-fiches. Lorsqu'on adapte cette construction, on donne quelquefois aux montants du conduit d'eau une

inclinaison vers le dehors, et celui-ci a alors une section trapézoïdale.

Dans les digues d'une grande hauteur, la largeur, qui est toujours en rapport avec l'élévation, devient très-grande et les contre-forts de la prise d'eau deviennent par suite très-longs. Dans ce cas encore, on peut supprimer sur une partie de leur longueur la charpente massive et lui substituer des contre-fiches.

Quelquefois on continue le planchéiage des parois verticales du canal, sur la face des contre-forts qui regarde l'étang : on obtient ainsi une garantie de plus contre les infiltrations.

Les frais de construction d'une prise d'eau augmentent avec sa largeur ; on peut quelquefois réduire celle-ci en se servant du même canal pour laisser écouler le trop-plein et pour amener l'eau motrice aux roues hydrauliques. On dispose alors sur les côtés du conduit les orifices qui doivent y puiser l'eau pour les moteurs, et au delà de ces orifices, à l'extrémité du conduit, on dispose un deuxième vannage qui laisse écouler le trop-plein.

Cette disposition n'est guère praticable que pour des usines qui travaillent seulement en été ; car l'eau congèle en hiver dans le conduit ouvert.

On dispose quelquefois aussi le vannage destiné à vider le fond de l'étang, au-dessous du canal qui emmène le trop-plein et l'eau des roues hydrauliques.

Les *fig.* 14 et 15 représentent cette disposition. Les contre-forts sont formés en partie par des cadres, en partie par des montants à contre-fiches. Le terrain étant assez perméable, on a établi plusieurs murs à poutres jointives.

Il est évident qu'on ne peut y avoir recours que lors-

qu'on possède une plus grande chute d'eau que l'usine n'exige.

Les *fig.* 16, 17 et 18 indiquent le mode de construction d'une prise d'eau placée obliquement à la digue, et offrant, dans les détails, de l'analogie avec la précédente. Cette prise étant établie en vue d'agrandissement ultérieur de l'usine, le canal est provisoirement bouché sur une partie de sa largeur.

Les *fig.* 19, 20 et 21 représentent les éléments principaux d'une prise d'eau de construction récente.

RECHERCHES

SUR LES PSEUDOMORPHOSES.

Par M. DELESSE.

Le métamorphisme considéré de la manière la plus générale comprend toutes les modifications éprouvées par les substances minérales. Il se divise naturellement en deux parties suivant qu'il a pour objet les minéraux ou les roches. C'est le métamorphisme des minéraux que je me propose d'étudier dans cette notice, et je le décrirai sous le nom de pseudomorphisme.

Mais comme certaines associations de minéraux présentent toutes les apparences du pseudomorphisme avec lequel elles ont été souvent confondues, il est nécessaire de s'en occuper d'abord d'une manière spéciale.

Associatio des minérau

On sait que, malgré leur grande variété, les roches qui composent l'écorce terrestre renferment un nombre assez petit de minéraux. Il semble même que certains minéraux n'aient pu se former sans que d'autres se soient développés en même temps. Ainsi, lorsqu'il y a des feldspaths dans une roche, il s'y trouve le plus souvent des micas, du pyroxène ou de l'amphibole. De même il est rare que l'orthose se montre sans le quartz. Les associations de minéraux s'observent d'ailleurs soit dans les roches normales, soit dans les roches anormales. De plus, comme l'ont montré MM. Breithaupt,

Henwood et B. Cotta, les minéraux se sont généralement succédé dans le même ordre (1). On ne saurait donc douter que les minéraux ne manifestent une grande tendance à former des associations constantes.

Il est surtout un cas particulier dans lequel ces associations sont bien évidentes et aussi intimes que possible; c'est lorsque deux minéraux ont cristallisé de manière que l'un enveloppât l'autre : nous dirons alors qu'il y a enveloppement.

ENVELOPPEMENT.

Enveloppement. L'*enveloppement* des minéraux est bien propre à nous éclairer sur les conditions dans lesquelles ils se sont formés; aussi réclame-t-il une attention toute spéciale. Déjà les anciens minéralogistes s'en étaient occupés, notamment Romé de l'Isle, de Bournon, Haüy, Gerhard, Gallois, Germar, Marx, Von Born, Werner, Karsten, Mohs, Chrichton, Phillips : depuis il a été signalé dans diverses circonstances par MM. Breithaupt, Naumann, G. Bischof, Haussmann, Haïdinger, Schéerer, G. Rose, Sillem, Zippe, Von Zepharovitch, Tamnau, Wieser, Weibye, A. Knop, Websky. Marbach, Genth, Liebener, Null, Levy, Durocher, sir David Brewster, H. C. Sorby, Silliman, Alger, Nicol, Jackson. Mais c'est surtout à MM. R. Blum, G. Leonhard, Kenngott, A. Seyffert et E. Sochting que sont dus les principaux travaux sur l'enveloppement (2).

---

(1) Breithaupt. *Paragenesis der Mineralien.* — Henwood. *London, Edinb. and Dublin Philosophical Magazine*, 1846, 360. — B. Cotta. *Die Lehre von der Erzlagerstätten*, 2e édition, 1859, 72.

(2) *Naturw. Verein in Halle*, 1853, t. XI, 6. Hollandische Societät der Wissenschaften zu Haarlem, 1854.

Lorsqu'on envisage la question dans toute sa généralité, un minéral peut envelopper un nombre presque indéfini d'autres minéraux; le vieux dicton populaire, *tout est dans tout*, semble devoir se vérifier pour le règne minéral.

Cependant le nombre des minéraux enveloppants et enveloppés n'est pas aussi grand qu'on pourrait le croire au premier abord; il se réduit même considérablement, lorsqu'on se borne à ceux qui sont bien cristallisés et les plus importants.

Voici un tableau qui résume ce cas spécial et qui fait connaître l'enveloppement pour les principaux minéraux.

La classification adoptée est celle de M. Dana (1).

Le minéral enveloppant se trouve dans la première colonne du tableau et le minéral enveloppé dans les suivantes.

Bien que les minéraux enveloppants ou enveloppés soient le plus généralement inorganiques, ils peuvent aussi être organiques et ces derniers figurent également sur le tableau.

Une attention particulière a d'ailleurs été apportée à l'examen des minéraux dans lesquels on a signalé quelque métamorphose. et on verra plus loin que souvent cette prétendue métamorphose trouve une explication toute naturelle dans l'enveloppement.

(1) Dana. *A system of Mineralogy.* New-York, 1854.

TABLEAU I.

MINÉRAL ENVELOPPANT.	MI[illegible]			
	CORPS SIMPLES, ETC.	SULFURES, ARSÉNIURES.	FLUORURES, CHLORURES.	OXYDES.
[illegible]				
[illegible]	Argent.			
[illegible]				
[illegible]	Or.			
[illegible]	Or.			
[illegible]	Arsenic.	Antimoine sulfuré. Pyrargyrite. Argent antimonial.		
[illegible]		Galène		
[illegible]	[illegible]			Rutile.
[illegible]				
[illegible]	Or.			
[illegible]		Antimoine sulfuré, Cinabre.		Quartz.
[illegible]				Quartz.
[illegible]		Cuivre sulfuré, Pyrite de cuivre.		
[illegible]	Argent.	Blende, Pyrite magnétique, Pyrite, Pyrite de cuivre.	Chaux fluatée.	Quartz.
[illegible]		Galène, Pyrite.		Spinelle (Gahnite).
[illegible]		Phillipsite, Pyrite de cuivre.		
[illegible]		Galène, Pyrite, Pyrite de cuivre.		
[illegible]	Or.	Galène, Cinabre.	Chaux fluatée.	Rutile.
[illegible]		Pyrite de cuivre, Cuivre gris.		Quartz.
[illegible]				Quartz.
[illegible]		Cobalt gris.		Quartz.
[illegible]	Graphite.	Cobalt gris.		Quartz.
[illegible]		Pyrite		
[illegible]		Argent rouge, Feuerblende.		
[illegible]		Pyrite.		
[illegible]				
[illegible]		Pyrite de cuivre.	Sel marin, Chaux fluatée.	Eau.
[illegible]	Argent.			
[illegible]	Argent.	Argent sulfuré, Galène, Blende, Breithauptite (Nickel antimonial), Pyrite, Marcasite, Mispickel, Pyrite de cuivre, Aïkinite.	Chaux fluatée.	Hæmatite, Eau, Bismuth oxydé, Quartz.
[illegible]		Galène, Blende, Pyrite de cuivre.		
[illegible]				
[illegible]	Or.	Galène, Blende.		Corindon.
[illegible]		Pyrite de cuivre.		Quartz.
[illegible]				Franklinite.
[illegible]				Fer oxydulé, Corindon, Diaspore.
[illegible]	Palladium, Mercure.			Fer oxydulé, Magnoferrite, Rutile, Quartz.
[illegible]				Quartz.
[illegible]				Hæmatite.
[illegible]				Rutile.

ENVELOPPEMENT.

PÉ.

SILICATES.	TUNGSTATES, SULFATES, PHOSPHATES.	CARBONATES.	SUBSTANCES ORGANIQUES.
L.			
....	....	Chaux carbonatée.	Lignite.
....	Baryte sulfatée.		
L	Baryte sulfatée.	Chaux carbonatée; Plomb carbonaté.	
, Mica.................... bole...................... aline.	Gypse ...... Nickel arséniaté.	.... Chaux carbonatée.	Combustibles.
....	....	Fer carbonaté.	
.... bole, Axinite, Mica, Orthose, Euclase, rmaline, Chlorite, Carpholite, Argile.	Anhydrite, Glaubérite, Boracite. Baryte sulfatée, Herderite.	.... Chaux carbonatée, Dolomie.	Hydrogène carboné. Végétaux, Animaux.
....	....	Fer carbonaté.	
ine, Grenat, Mica.............. ine, Amphibole, Asbeste, Grenat, Épidote, , Serpentine, Chlorite, Analcime. nite.	....	Chaux carbonatée. Chaux carbonatée.	
....	....	Fer carbonaté.	
t, Feldspath................	....	Fer carbonaté.	
ude, Mica. te.			

TABLEAU I. (Suite.)

MINÉRAL ENVELOPPANT.	CORPS SIMPLES, ETC.	SULFURES, ARSÉNIURES.	FLUORURES, CHLORURES.	OXYDES.
OXYDES (suite).				
Cymophane				Quartz
Diaspore				Corindon
Limonite	Or, Argent.		Kérargyrite	Hæmatite
Valentinite		Antimoine sulfuré.		
Kermès		Antimoine sulfuré.		
Bleinierite		Jamesonite		
Quartz	Or, Electrum, Argent, Cuivre, Arsenic, Bornite, Soufre, Graphite, Diamant.	Bismuthine, Antimoine sulfuré, Argent sulfuré, Galène, Manganèse sulfuré, Blende, Cinabre, Pyrite magnétique, Pyrite, Marcasite, Mispikel, Molybdène sulfuré, Pyrite de cuivre, Zinkenite, Hétéromorphite, Pyrargyrite, Cuivre gris, Stéphanite.	Sylvine, Sel marin, Chaux fluatée.	Fer oxdulé, Eau [...] chlorures et sulfa[...] Ilmenite, Hæmat[...] Etain oxyde, Ru[...] Anatase, Brookite, [...]mophane, Pyrolu[...] Gœthite, Limonite, [...]muth oxyde, Ker[...] Acide arsénieux, [...] framine, Quartz.
SILICATES.				
Edelforsite				
Pyroxène	Graphite	Pyrite magnétique		Fer oxydulé
Spodumène				
Amphibole		Galène, Blende, Pyrite, Pyrite de cuivre.		Fer oxydulé, Qua[...]
Emeraude			Chaux fluatée.	Quartz
Péridot				
Willemite				Franklinite.
Chondrodite		Molybdène sulfuré		Spinelle.
Phénakite				
Grenat		Pyrite, Pyrite de cuivre	Chaux fluatée.	Fer oxydulé, Ha[...]tite, Rutile, Quar[...]
Helvine		Blende		
Zircon				
Idocrase				Fer oxydulé, Qua[...]
Paranthine (Wernérite).		Pyrite magnétique, Pyrite		Fer oxydulé, Ha[...]tite, Quartz.
Mellilite				Spinelle
Epidote				Fer oxydulé
Axinite				Quartz
Iolite (Gigantolite, Pinite, Chlorophyllite).		Pyrite magnétique, Pyrite, Pyrite de cuivre.		
Mica		Pyrite		Spinelle, Fer oxy[...] Quartz.
Sodalite				
Lapis Lazuli		Pyrite.		
[...]yne				
[...]phigène				

SILICATES.	TUNGSTATES, SULFATES, PHOSPHATES.	CARBONATES.	SUBSTAN... ORGANIQ...
...ica, Tourmaline.	. . . .	. . . .	Brewstolit... Cryptolin...
...e, Mica.			
...rite.	. . . .	Fer carbonaté.	
Amphibole (Grammatite, Actinote, ...onde, Amiante, Krokidolite). Achmite, ...ide, Chondrodite, Grenat, Zircon ...e (Jefremovite). Epidote, Axinite, Iolite, ...iarite, Orthose, Albite, Topaze, ...e-Andalousite, Disthène, Sphène, Tour-..., Talc, Chlorite (Ripidolite), Chabasie, ..., Carpholite, Calamine.	Scheelin calcaire, Wolfram, Plomb chromaté, Baryte sulfatée, Strontiane sulfatée, Sulfates de soude, de chaux et de fer, Lazulite (Blauspath), Cobalt arséniate.	Chaux carbonatée, Dolomie Magnésie carbonatée, Fer carbonaté.	Bitume, Naphte, Anthracit... Brewstoli... Cryptolin...
...le (Grammatite, Actinote, Hornblende, ...). Péridot, Grenat, Œrstedite, Néphé-...l rador, Mica, Sphène, Calamine.			
...(Diallage, Smaragdite, Hypersthène), ...bole (Actinote). Grenat, Paranthine ...ite, Mica, Lievrite, Disthène, Sphène, ...lite, Talc. Chlorite, Chabasie.	Apatite.	Chaux carbonatée.	
...paze, Tourmaline, Chlorite. . . . .(Brouzite).	Tantalite.		
..., Wollastonite. Amphibole, Paranthine, ... Idocrase, Epidote, Mica, Feldspath, ...ne, Chlorite.	Gypse	Chaux carbonatée.	
..., Amphibole, Grenat, Idocrase, Epi-...Mica, Orthose, Chlorite.	. . . .	Chaux carbonatée.	
..., Amphibole, Zircon, Epidote, Feld-... Mica, Sphène.	Apatite.	Chaux carbonatée.	
... .	Apatite.		
...le, Zircon, Epidote, Paranthine, Feld-... Mica. ... Orthose, Chlorite, Prehnite. ...lolite, Mica.	. . . .	Chaux carbonatée.	
...e, Amphibole, Asbeste, Grenat, Epidote. ... Mica, Feldspaths Andalousite Macle, ..., Staurotide, Disthène, Tourmaline, ...ite.	Apatite.		
...e, Amphibole, Grenat, Haüyne, Mica.			
...Mica.			
...Péridot, Grenat, Mica ferromagnésien, ...ne, Amphigène, Orthose vitreux, Lava.			

TABLEAU I. (Suite.)

MINÉRAL ENVELOPPANT.	MI…			
	CORPS SIMPLES, ETC.	SULFURES, ARSÉNIURES.	FLUORURES, CHLORURES.	OXYDES.
SILICATES (suite).				
…phéline ([illegible])				Fer oxydulé.
…dspath (Albite, Oligoclase, Labrador, Anorthite).	Or.		Fluorine.	Fer oxydulé, Corind… Hæmatite, Ilmén… Rutile, Quartz.
…dspath (Orthose).	Graphite.	Galène, Pyrite, Molybdène sulfuré, Mispickel.		Fer oxydulé, Corind… Hæmatite, Rut… Anatase, Cymoph… Quartz.
…[illegible].				
…ine.				Hæmatite, Ilmén… Étain oxydé, Ru… Quartz.
…rotide.				Quartz.
…rite		Galène, Blende, Pyrite, Pyrite de cuivre.		
…lithène.	Graphite.			Corindon, Hæmat… Rutile, Cymophan…
…ine ([illegible])				Braunite.
…rmaline.		Miargyrite.		Quartz.
				Fer oxydulé, Spin…
…se de mer.				Silex.
…ntine.	Platine, Cuivre.	Pyrite magnétique, Mispickel.		Fer oxydulé, Fer ch…mé, Ilménite, Bruc… Némalite, Qu… (Opale, Chrysopra…
…rite.		Galène, Pyrite de fer, Mispickel.		Fer oxydulé, Corind…
…ritoïde ([illegible]).				Diaspore.
…llerspath.				
…gophyllite.	Cuivre, Bornite.	Pyrite magnétique, Pyrite, Marcasite, Mispickel.		
…mmonite.				Anatase.
…lemine.		Galène		
…hnite				
…lcime.	Cuivre.			Hæmatite.
…basie.		Pyrite de cuivre.		
…motome.		Galène, Pyrite, Pyrite de cuivre.		Hæmatite.
…llipsite.				Fer oxydulé.
…rolite ([illegible]).				
…bite.		Pyrite, Mispickel.		Hæmatite.
…olithe				Fer oxydulé, Hæmat…
…pasiolite				
…msonite ([illegible])				
…lites.		Pyrite		Hæmatite, Limonit…
…ondrite.				
TITANATES, TUNGSTATES, MOLYBDATES, CHROMATES				
…rochlore.				Isérine.
…olin calcaire.				Oxyde d'étain, Qua…
…plite.				
…fram.				
…hyrite.				

ENVELOPPEMENT.

SILICATES.	TUNGSTATES, SULFATES, PHOSPHATES.	CARBONATES.	SUBSTANCES ORGANIQUES.
nat,Mellilite,Mica,Haüyne,Cancrinite. , Hornblende, Amianthe, Peridot, , Zircon, Paranthine, Epidote, Mica, (M.krolite), Sphène, Chlorite, Natrolite.	Apatite. Tantalite, Apatite.		
. Amphibole (Hornblende, Actinote), Zircon. Orthite, Epidote, Axinite. Mica, ne, Albite, Oligoclase, Sphène, Anda- Tourmaline, Chlorite, Wöhlerite. lalousite, Disthène, Schiste argileux.	Tantalite. . . . . Columbite, Uranotantale, Apatite.	Chaux carbonatée.	
ica (Lépidolite), Tourmaline.	Wolfram.	. . . .	Brewsteline, Cryptoline, Ma- tiere bitumi- neuse.
thène.			
ica, Andalousite, Staurotide, Disthène.			
hlorite.			
e (Actinote), Grenat, Mica (Lépidolite), , Tourmaline, Talc, Chlorite.	Apatite, Uranite.		
e, Grenat, Tourmaline, Chlorite. . . .	Apatite.	Dolomie, Fer car- bonaté.	
Péridot, Grenat (Pyrope), Feldspath rite, Labrador, Oligoclase). Mica ferro- ien, Serpentine noble, Chrysotil, Schil- , Chlorite.	. . . .	Chaux carbonatée, Magnésie carbo- natée, Hydroma- gnésite.	
e, Topaze, Grenat, Sphène, Tourmaline.	. . . .	Chaux carbonatée, Dolomie.	
e.			
. . . .	. . . .	Smithsonite.	
e (Amianthe).			
pophyllite.			
rnblende, Chlorite, Analcime, Chabasie.	. . . .	Chaux carbonatée.	
e (Eleolite), Feldspath (Oligoclase).			
miantbe, Terre verte.	. . . .	Chaux carbonatée.	
nalcime.			
. . . .	Gypse, Alun, Webstérite, Co- balt arséniaté.	Chaux carbonatée, Dolomie, Fer car- bonaté, Malachite.	Substances or- ganiques, Vé- getaux, Ani- maux.
, Iolite.	Uranite.		
. . . .	Wolfram.		
rthose.			

TABLEAU I. (Suite.)

MINÉRAL ENVELOPPANT	CORPS SIMPLES, ETC.	SULFURES, ARSÉNIURES.	FLUORURES, CHLORURES.	OXYDES.
SULFATES.				
Baryte sulfatée. . . .	Or, Mercure, Argent, Cuivre, Bismuth.	Réalgar, Bismuth sulfuré, Antimoine sulfuré, Argent sulfuré, Galène, Blende, Cuivre sulfuré, Cinabre, Pyrite, Cobalt gris, Cobalt arsenical, Nickel arsenical, Marcasite, Pyrite de cuivre, Bournonite.	. . . .	Hæmatite, Ma Pyrolusite, Li Quartz, Sabl
Célestine.	Soufre. . .	Pyrite.		
Anhydrite	. . . .	. . . .	. . . .	Quartz. . . . .
Plomb sulfaté.	. . . .	Galène.	. . . .	Limonite.
Polyhalite	. . . .	. . . .	Sel marin.	
Gypse	Soufre. . .	Réalgar, Antimoine sulfuré, Galène, Pyrite.	Sel marin. . .	Quartz, Silex.
Alunite.	Soufre.			
Boracite.	. . . .	Pyrite.	Sel marin. . .	Quartz.
PHOSPHATES.				
Apatite	. . . .	Marcasite, Pyrite de cuivre. . .	. . . .	Fer oxydulé, tite, Oxyde d
Plomb phosphaté. . .	. . . .	. . . .	. . . .	Limonite; Qua
Nickel arséniaté. . .	. . . .	Nickel arsénical (Kupfernickel).		
CARBONATES.				
Chaux carbonatée . .	Argent, Cuivre, Bornite, Soufre, Graphite.	Réalgar, Antimoine sulfuré, Argent antimonial, Argent sulfuré, Galène, Blende, Cuivre sulfuré, Pyrite magnétique, Breithauptite, Pyrite, Nickel sulfuré, Marcasite, Mispickel, Molybdène sulfuré, Pyrite de cuivre, Hétéromorphite, Pyrargyrite, Cuivre gris.	Bromure d'argent, Chaux fluatée.	Spinelle, Fer Franklinite, Hæmatite, L Quartz, Sabl
Magnésie carbonatée	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .
Dolomie.	Mercure. .	Réalgar, Argent sulfuré, Cuivre sulfuré, Blende, Cinabre, Pyrite, Pyrite de cuivre, Marcasite, Dufrénoysite.	. . . .	Fer oxydulé, C hæmatite, Q
Fer carbonaté.	Bismuth. .	Bismuth sulfuré, Galène, Millérite, Pyrite, Marcasite, Pyrite de cuivre.	. . . .	Rutile, Quartz
Manganèse carbonaté	. . . .	Galène, Blende, Pyrite.	. . . .	. . . .
Withérite.	. . . .	Blende.		
Plomb carbonaté. . .	. . . .	Galène.	Bromure d'argent.	Limonite.
Baryto-calcite.	. . . .	. . . .	. . . .	Limonite.
Malachite.	. . . .	Bournonite.	. . . .	Cuivre oxydul
SUBSTANCES ORGANIQUES.				
Ambre.	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .
Bitume.	. . . .	. . . .	. . . .	Quartz, Calcé
Idrialine.	. . . .	Cinabre.		
Lignite, Houille, Anthracite.	. . . .	Pyrite.	. . . .	Limonite . . .

ENVELOPPEMENT.

SILICATES.	TUNGSTATES, SULFATES, PHOSPHATES.	CARBONATES.	SUBSTANC ORGANIQU
....	Baryte sulfatée, Cobalt arseniate.	Dolomie.	
....	Boracite.		
Mica, Talc, Argile.	Anhydrite, Gypse, Boracite.	Arragonite, Dolomie, Magnesie carbonatée, Malachite.	Oxalite, Lignite, Vegetaux, Animaux.
Mica, Tourmaline, Talc, Chlorite, Argile.	Wolfram, Cryptolite.	Chaux carbonatée.	
....	Baryte sulfatée.		
ite, Pyroxène, Wollastonite, Amphibole matite, Strahlstein), Amianthe, Chon-te, Grenat, Idocrase, Epidote, Werné Couzeranite, Meïonite, Mica, Sodalite, ne, Lapis Lazuli, Feldspath, Albite, nite Tourmaline Terre verte, Chlorite, ayllite, Salbite, Natrolite.	Baryte sulfatée, Celestine, Apatite.	Chaux carbonatée, Fer carbonate, Malachite, Azurite.	Bitume, Anthracite Combustib Vegetaux, Animaux.
ne, Amphibole (Grammatite, Asbeste), Gre-lica, Albite, Tourmaline, Talc, Chlorite.	Cobalt arséniaté.	....	Végétaux, Animaux.
....	....	Fer carbonaté. . .	Végétaux, Animaux.
....	....	Azurite.	
....	....	Chaux carbonatée.	Végétaux, Animaux.
....	....	Chaux carbonatée.	
....	Gypse.	Chaux carbonatée. Fer carbonaté lithoïde.	Succin, Houille gétaux, Ani

Le tableau montre de suite que les minéraux enveloppants aussi bien que les minéraux enveloppés peuvent appartenir à toutes les familles du règne minéral. De plus, il fait connaître l'association la plus habituelle aux divers minéraux et il permet de l'embrasser d'un seul coup d'œil.

Quelques particularités intéressantes méritent d'abord d'être signalées.

pement riétés un inéral.

— L'enveloppement peut facilement être constaté, non-seulement entre des minéraux différents, mais encore entre les variétés d'un même minéral. Alors, le nom de ce minéral a été inscrit à la fois dans les colonnes des minéraux enveloppants et enveloppés.

Citons quelques exemples.

Dans les corps les mieux cristallisés comme le diamant, au milieu des parties les plus limpides, il y a des parties ternes ou même complétement noires qui forment dans certains cas des espèces d'astéries fixes.

Le quartz hyalin renferme souvent des cristaux indépendants de quartz également hyalin. Dans le spath d'Islande, M. Des Cloizeaux a observé des cristaux de chaux carbonatée qui en sont parfaitement distincts.

L'amphibole des schistes cristallins est quelquefois formée d'hornblende enveloppant de l'actinote.

Le mica blanc d'argent du granite renferme fréquemment un autre mica qui est noirâtre ou brun tombac.

La tourmaline présente surtout des variétés bien distinctes dans un même cristal; ainsi, celle de Chesterfield est verte à l'extérieur et d'un beau rose à l'intérieur. D'un autre côté, l'inverse peut très-bien avoir lieu, comme le montre une tourmaline de Mursinsk, en Sibérie, appartenant à la collection de M. Damour. Dans certains cristaux de tourmaline, on observe même plusieurs alternances.

L'amphigène du Vésuve se montre en petits globules à zones concentriques dans lesquels une zone transparente est comprise entre deux zones opaques (*fig.* 15). Dans les gros cristaux d'amphigène de Roccamonfina, les zones transparentes et opaques se succèdent en très-grand nombre. Quelquefois il en est de même pour le feldspath, et notamment pour l'orthose du granite porphyroïde des Vosges (1).

L'idocrase d'Arendal, d'après M. G. Leonhard, présente une série de cristaux qui s'emboîtent bien l'un dans l'autre; leur éclat diminue à mesure qu'on s'éloigne du centre, et il peut même arriver que leur circonférence soit formée par une zone reprenant de l'éclat.

Le quartz des Alpes offre dans certains cas une série de cristaux qui s'emboîtent l'un dans l'autre et son accroissement successif est très-bien indiqué par des zones parallèles de chlorite (ripidolite) (*fig.* 10).

Une très-petite quantité de matière étrangère ou une légère altération dans la structure suffisent d'ailleurs pour changer l'aspect d'un minéral; mais dans plusieurs des exemples qui viennent d'être cités, la densité, la composition chimique et toutes les propriétés ont été complétement modifiées; en réalité, l'enveloppement de la tourmaline, de l'amphibole, du mica, a lieu entre des minéraux bien distincts qui toutefois appartiennent à la même espèce minérale.

L'enveloppement des variétés d'un même minéral s'observe facilement dans le diamant, la chaux fluatée, le sel marin, le corindon, le quartz, le pyroxène, l'amphibole, le grenat, l'idocrase, l'épidote, l'iolite, le feldspath, l'amphigène, le mica, l'andalousite, le disthène, le sphène, la tourmaline, la topaze, la serpentine, le

(1) *Recherches sur les roches globuleuses.* (*Mémoires de la Société géologique*, 2ᵉ série, t. IV, p. 301.)

wolfram, la baryte sulfatée, le gypse, la chaux carbonatée, le fer carbonaté. Il est rendu bien sensible par des changements dans l'éclat, la couleur, la transparence, par un mélange de matières organiques, d'oxydes ou de sulfures métalliques, d'argile, de chlorite ou de toute autre substance étrangère; en un mot, il est accusé par les plus légères différences, soit dans les propriétés physiques, soit dans les propiétés chimiques.

Il peut d'ailleurs être attribué soit à une cristallisation lente opérée dans un liquide ou dans un milieu de composition variable, soit à un départ qui s'est opéré entre les parties au moment de la cristallisation.

ppement proque. — L'enveloppement de deux minéraux est quelquefois réciproque.

Ainsi, le quartz enveloppe la baryte sulfatée, et, d'un autre côté, cette dernière enveloppe le quartz. Il en est de même pour le disthène et la staurotide.

Le plus souvent, lorsque deux minéraux présentent un enveloppement réciproque, ils se trouvent dans des gisements différents; cependant, dans certains cas, ils sont non-seulement dans le même gisement, mais encore réunis dans la même roche.

Par exemple, dans les schistes cristallins du Saint-Gothard, la staurotide enveloppe tantôt le disthène et tantôt, au contraire, est enveloppée par lui.

Dans la pegmatite du Mourne, en Irlande, l'orthose laisse son empreinte sur le quartz, tandis que dans les cavités de cette même pegmatite, le quartz supporte les cristaux d'orthose et leur donne au contraire son empreinte (1).

M. G. Rose a fait observer que dans le granite, le mica blanc d'argent qui est très-alumineux enveloppe géné-

(1) *Bulletin de la Société géologique*, 2ᵉ série, t. X, p. 568.

ralement le mica noirâtre ou brun tombac qui est ferromagnésien. D'un autre côté, j'ai constaté un enveloppement réciproque du précédent dans le granite du Cornouailles qui est employé aux monuments de Londres ; ses micas forment, en effet, des agglomérations dans lesquelles c'est le mica ferromagnésien qui enveloppe au contraire le mica alumineux (*fig.* 12).

Enfin, l'enveloppement réciproque s'observe aussi dans la même roche et de plus sur le même point.

Car, d'après M. Schéerer, le feldspath orthose de la syénite de Norwége enveloppe la natrolite (spreustein) qui, à son tour, enveloppe un noyau de ce même feldshatp ; en sorte qu'une zone de natrolite se trouve comprise entre deux zones de feldspath.

M. Blum a constaté que le grenat de Pittigliano, en Italie, renferme dans ses cavités des cristaux d'idocrase et de grenat qui se pénètrent et s'enveloppent mutuellement. D'après MM. Seyffert et Söchting, il en est de même pour le rutile et le fer oligiste de la vallée de Tavetsch.

Voici les principaux exemples d'enveloppement réciproque :

La pyrite et la chaux fluatée, la galène et la chaux fluatée, la chaux fluatée et le quartz, le rutile et le fer oligiste, le fer oxydulé et l'asbeste, le fer oxydulé et le talc, le fer oxydulé et la chlorite, la franklinite et la villémite, la cymophane et le quartz, le corindon et le diaspore, le quartz et l'émeraude, le quartz et le grenat, le quartz et la topaze, le quartz et la baryte sulfatée, le quartz et le scheelin calcaire, le quartz et la chaux carbonatée, le quartz et le fer carbonaté, le pyroxène et l'amphibole, l'émeraude et la topaze, le grenat et l'idocrase, le grenat et le gypse, le grenat et la chaux carbonatée, l'épidote et la paranthine, le mica alumineux et

le mica ferromagnésien, le mica et l'andalousite, le mica et le disthène, le mica et la tourmaline, le feldspath et la tourmaline, le feldspath et la natrolite, le feldspath et la chaux carbonatée, l'andalousite et le disthène, la staurotide et le disthène, le schillerspath et la serpentine.

En résumé, l'enveloppement réciproque s'observe entre toutes les familles du règne minéral; il a lieu souvent entre les variétés d'une même espèce ou bien entre les minéraux qui ont quelque analogie dans leur composition chimique; il est très-fréquent pour les silicates; il l'est également pour le quartz et en général pour les minéraux qui constituent les gîtes métallifères ou les roches anormales.

— Comme on le voit par le tableau n° I, les minéraux enveloppants et enveloppés sont très-nombreux, et cependant loin d'être exagérée, leur liste pourrait encore être considérablement augmentée. Il suffirait, en effet, d'y joindre les minéraux qui se sont formés dans les roches; car le calcaire saccharoïde, par exemple, enveloppe une grande partie des minéraux connus et ces derniers ont cristallisé en même temps que lui.

De plus, lorsqu'un minéral s'est formé, il a généralement été souillé par des substances étrangères, amorphes ou cristallines, organiques ou inorganiques, qui se sont mélangées avec lui et qui ont modifié sa couleur et ses autres propriétés; aussi, lors même qu'un cristal est transparent, il est extrêmement rare qu'il ne renferme pas des substances étrangères. Quand ces substances ne sont pas visibles à l'œil nu, le microscope ou l'analyse chimique les font reconnaître facilement.

Mais les minéraux qui figurent dans le tableau précédent sont seulement les plus habituels, et plus spécialement ceux qui, étant cristallisés, ont été observés dans un autre minéral également cristallisé.

Les minéraux enveloppants qui ont le plus d'importance et qui renferment le nombre le plus grand d'autres minéraux sont surtout la chaux fluatée, le quartz, les micas, les feldspaths, le grenat, l'idocrase, la paranthine, la tourmaline, le pyroxène, l'amphibole, la serpentine, la chlorite, le talc, la baryte sulfatée, le gypse, l'apatite, la chaux carbonatée, la dolomie, le fer carbonaté. Il est facile de voir qu'ils sont très répandus et qu'ils constituent essentiellement les roches.

D'un autre côté, certains minéraux également très-répandus, tels que la blende, le fer oligiste, le péridot, le sphène, ne renferment que rarement d'autres minéraux.

Les minéraux enveloppés les plus habituels sont à peu près les mêmes que les minéraux enveloppants. Il convient cependant d'y ajouter les minéraux métalliques les plus répandus, notamment l'antimoine sulfuré, la galène, la blende, la pyrite magnétique, la pyrite de fer, la pyrite de cuivre, le fer oxydulé, le fer oligiste, le rutile, le wolfram.

Le minéral enveloppant et le minéral enveloppé présentent assez souvent quelque analogie dans leur composition. Ainsi, les sulfures, les arséniures, le quartz et les silicates, les phosphates, les carbonates, se montrent surtout associés aux minéraux de la même famille.

Toutefois il n'y a pas de règle générale à cet égard, et les minéraux offrant les plus grandes différences dans leur composition peuvent très-bien se trouver associés. On comprend donc comment, d'après le tableau qui a été dressé, le quartz enveloppe au moins une centaine de substances et est lui-même enveloppé par une quarantaine; comment la chaux carbonatée enveloppe au moins soixante-dix substances et est enveloppée par plus d'une vingtaine.

le mica ferromagnésien, le mica et l'andalousite, le mica et le disthène, le mica et la tourmaline, le feldspath et la tourmaline, le feldspath et la natrolite, le feldspath et la chaux carbonatée, l'andalousite et le disthène, la staurotide et le disthène, le schillerspath et la serpentine.

En résumé, l'enveloppement réciproque s'observe entre toutes les familles du règne minéral; il a lieu souvent entre les variétés d'une même espèce ou bien entre les minéraux qui ont quelque analogie dans leur composition chimique; il est très-fréquent pour les silicates; il l'est également pour le quartz et en général pour les minéraux qui constituent les gîtes métallifères ou les roches anormales.

ultats éraux. — Comme on le voit par le tableau n° I, les minéraux enveloppants et enveloppés sont très-nombreux, et cependant loin d'être exagérée, leur liste pourrait encore être considérablement augmentée. Il suffirait, en effet, d'y joindre les minéraux qui se sont formés dans les roches; car le calcaire saccharoïde, par exemple, enveloppe une grande partie des minéraux connus et ces derniers ont cristallisé en même temps que lui.

De plus, lorsqu'un minéral s'est formé, il a généralement été souillé par des substances étrangères, amorphes ou cristallines, organiques ou inorganiques, qui se sont mélangées avec lui et qui ont modifié sa couleur et ses autres propriétés; aussi, lors même qu'un cristal est transparent, il est extrêmement rare qu'il ne renferme pas des substances étrangères. Quand ces substances ne sont pas visibles à l'œil nu, le microscope ou l'analyse chimique les font reconnaître facilement.

Mais les minéraux qui figurent dans le tableau précédent sont seulement les plus habituels, et plus spécialement ceux qui, étant cristallisés, ont été observés dans un autre minéral également cristallisé.

Les minéraux enveloppants qui ont le plus d'importance et qui renferment le nombre le plus grand d'autres minéraux sont surtout la chaux fluatée, le quartz, les micas, les feldspaths, le grenat, l'idocrase, la paranthine, la tourmaline, le pyroxène, l'amphibole, la serpentine, la chlorite, le talc, la baryte sulfatée, le gypse, l'apatite, la chaux carbonatée, la dolomie, le fer carbonaté. Il est facile de voir qu'ils sont très répandus et qu'ils constituent essentiellement les roches.

D'un autre côté, certains minéraux également très-répandus, tels que la blende, le fer oligiste, le péridot, le sphène, ne renferment que rarement d'autres minéraux.

Les minéraux enveloppés les plus habituels sont à peu près les mêmes que les minéraux enveloppants. Il convient cependant d'y ajouter les minéraux métalliques les plus répandus, notamment l'antimoine sulfuré, la galène, la blende, la pyrite magnétique, la pyrite de fer, la pyrite de cuivre, le fer oxydulé, le fer oligiste, le rutile, le wolfram.

Le minéral enveloppant et le minéral enveloppé présentent assez souvent quelque analogie dans leur composition. Ainsi, les sulfures, les arséniures, le quartz et les silicates, les phosphates, les carbonates, se montrent surtout associés aux minéraux de la même famille.

Toutefois il n'y a pas de règle générale à cet égard, et les minéraux offrant les plus grandes différences dans leur composition peuvent très-bien se trouver associés. On comprend donc comment, d'après le tableau qui a été dressé, le quartz enveloppe au moins une centaine de substances et est lui-même enveloppé par une quarantaine; comment la chaux carbonatée enveloppe au moins soixante-dix substances et est enveloppée par plus d'une vingtaine.

Du reste, le quartz et la chaux carbonatée montrent très-bien que les minéraux enveloppants ou enveloppés peuvent appartenir à presque toutes les familles. Les corps simples, les sulfures, les oxydes, les fluorures, les silicates, les sulfates, les phosphates, les carbonates, figurent alternativement parmi les minéraux enveloppants et enveloppés.

Il n'est pas jusqu'aux substances organiques qui n'enveloppent quelques minéraux ; d'un autre côté, elles se rencontrent dans certaines variétés de quartz, de topaze, de cymophane; j'ai constaté de plus qu'elles existent en petite quantité dans la plupart des minéraux, quelquefois même dans ceux qui sont volcaniques. Enfin des corps organisés, végétaux ou animaux, s'observent aussi dans le sel gemme et dans le succin.

En résumé, qu'ils soient enveloppants ou enveloppés, les minéraux appartiennent à toutes les familles du règne minéral. Toutefois la silice et les silicates, les carbonates, les sulfates, sont beaucoup plus souvent enveloppants ou enveloppés que les sulfures, les arséniures et les oxydes métalliques. Et il est d'ailleurs facile de s'en rendre compte ; car tandis que ces derniers minéraux sont exceptionnels, les premiers sont au contraire très-fréquents et constituent la plus grande partie de l'écorce terrestre.

Quant à l'origine des minéraux enveloppants et enveloppés, elle est très-variable. Le plus souvent elle est aqueuse, mais elle peut aussi être ignée. Il est même possible qu'elle soit différente pour les deux minéraux associés.

La décomposition d'un minéral donne généralement lieu à un enveloppement ; cette décomposition est produite par l'oxygène, par l'eau, par l'acide carbonique ou bien par tout autre agent chimique. Elle est surtout

fréquente dans les minéraux susceptibles de passer à un degré d'oxydation supérieur.

Ce sont les minéraux des roches anormales et métallifères qui offrent visiblement le plus grand nombre d'enveloppements; il faut l'attribuer à leur mode de formation qui est habituellement par dépôts successifs, de sorte qu'un minéral doit recouvrir celui qui l'a précédé.

Ce préambule sur l'enveloppement des minéraux était nécessaire pour l'intelligence du pseudomorphisme qui va maintenant nous occuper.

PSEUDOMORPHISME.

Lorsqu'un minéral se présente sous une forme qui ne lui appartient pas, il y a ce que j'appellerai *pseudomorphisme*.

La substance à laquelle le minéral emprunte sa forme peut d'ailleurs être quelconque, non organisée ou bien organisée. Elle est dite originaire ou *pseudomorphosée*, tandis que le minéral qui la remplace est dit *pseudomorphique*.

Le pseudomorphisme par *altération* est celui dans lequel le minéral pseudomorphique contient encore des éléments de la substance originaire. Le pseudomorphisme par *déplacement* est celui dans lequel cela n'a pas lieu. Pour faire apprécier la différence qui existe entre ces deux sortes de pseudomorphismes, il suffit de mentionner comme exemples la pyrite de fer qui se change en hydroxyde de fer en conservant sa forme cristalline, ou bien la chaux fluatée qui, après avoir été complétement détruite, est remplacée par du quartz.

On a nommé *paramorphisme*, le pseudomorphisme

relie visiblement de la manière la plus intime à l'enveloppement.

Maintenant, il arrive souvent qu'un minéral est entouré par un autre qui résulte de son altération ; c'est, notamment, ce qu'on observe pour l'anhydrite et pour le gypse. Certains minéralogistes ont pensé d'après cela que, réciproquement, lorsque deux minéraux s'enveloppent, l'un résulte du pseudomorphisme de l'autre. Assurément il peut quelquefois en être ainsi, mais il nous sera facile de reconnaître que ce n'est cependant pas ce qui a lieu le plus habituellement.

En outre, lorsqu'un minéral cristallise, il enveloppe fréquemment une proportion très-notable d'un autre minéral. Le minéral dominant n'est même pas toujours celui qui donne au mélange sa forme cristalline, et généralement il a été considéré comme pseudomorphique. Y a-t-il alors enveloppement ou bien au contraire pseudomorphisme? La solution de cette question présente, comme on va le voir, de très-grandes difficultés, et pour les résoudre il faut rechercher d'abord comment se produit l'enveloppement.

Lorsqu'un minéral cristallise, la substance qu'il enveloppe reste quelquefois amorphe ; c'est, par exemple, ce qui a lieu pour le sable qui se trouve dans les rhomboèdres de chaux carbonatée à Fontainebleau. Il en est de même pour la mâcle (andalousite), qui, d'après M. Durocher, a retenu une partie du schiste au milieu duquel elle s'est formée.

Mais le minéral enveloppé dans un autre qui cristallisait a le plus souvent cristallisé lui même. Si l'on considère deux minéraux dans ces conditions, il faudra distinguer le cas où leurs cristaux sont indépendants et celui où ils sont orientés.

oppement rientation. 1° — Le premier cas est le plus simple et aussi le plus

fréquent. Généralement, quand deux minéraux cristallisés s'enveloppent, leurs cristaux ont l'un par rapport à l'autre des directions quelconques et ils sont indépendants.

Ainsi le fer oxydulé dans l'hornblende, la chlorite dans la chaux carbonatée, le mica dans l'augite, dans l'hornblende, dans l'orthose et dans les feldspaths, sont le plus souvent en cristaux complétement indépendants des minéraux dans lesquels ils se sont formés.

Tant que le minéral enveloppé se trouve en cristaux bien isolés et peu nombreux, aucune confusion n'est possible entre l'enveloppement et le pseudomorphisme. On se trouve au contraire en présence des plus grandes difficultés, dès que le minéral enveloppé devient assez abondant pour dissimuler en quelque sorte le minéral enveloppant, ou lorsqu'il lui est associé d'une manière assez intime pour se fondre insensiblement avec lui.

Par exemple, le grenat a été considéré comme pseudomorphique de l'idocrase parce qu'il s'observe quelquefois dans son intérieur, et c'est en effet ce que j'ai pu constater dans la collection de M. Wiser, à Zurich. Mais il importe de remarquer que l'idocrase est à son tour enveloppée par le grenat. Bien qu'il soit très-facile de concevoir le pseudomorphisme de ces deux minéraux, puisqu'ils ont à peu près la même composition chimique, je pense qu'il faudrait l'admettre seulement s'il était bien constaté que le grenat peut se substituer entièrement à l'idocrase.

Il convient de se tenir dans la même réserve à l'égard de l'iolite (dichroïte, cordierite) et du mica; car l'iolite, quand même elle ne porte aucune trace d'altération, se charge souvent de lamelles très-nombreuses de mica sous lesquelles elle disparaît tellement, qu'il faut, pour la

reconnaître, examiner sa cassure dans le sens perpendiculaire aux lamelles. Dans la variété d'Amity (Maine), qui avait été désignée sous le nom de chlorophyllite, il est facile de constater que de larges lames de mica vert sont très-rapprochées, et qu'elles alternent avec de l'iolite bleuâtre.

Est-il bien certain aussi que le mica pseudomorphose le disthène? Je ne le pense pas; il m'a paru seulement que le disthène enveloppait fréquemment une proportion plus ou moins grande de mica qui lui était mélangé et dans lequel il pouvait même se fondre. Mais cette circonstance n'a rien qui doive surprendre, car le disthène se trouve surtout dans des roches qui sont très-riches en mica; en outre le mica qui le pénètre est tout à fait identique à celui du micaschiste dans lequel il s'est formé; il est donc bien visible que le mica et le disthène ont cristallisé simultanément et en même temps que la roche qui les renferme.

La même remarque s'applique à l'andalousite, à la chiastolite, à la staurotide, à l'amphibole, au pyroxène, etc., qui sont souvent plus ou moins pénétrés par des micas. Dans les échantillons très-nombreux que j'ai examinés, ces divers minéraux n'étaient pas pseudomorphosés; ils enveloppaient simplement des micas identiques à ceux des roches dans lesquelles ils s'étaient formés.

La chlorite à grandes lamelles qui, dans le schiste chlorité, enveloppe et pénètre souvent de la manière la plus intime des cristaux de fer oxydulé, et qui ne diffère pas de celle qui constitue le schiste chlorité lui-même, ne me paraît pas non plus résulter d'un pseudomorphisme.

Je suis porté à croire qu'il y aurait lieu de faire des suppressions assez nombreuses parmi les minéraux qui sont regardés comme pseudomorphiques, et surtout

parmi les silicates. Les seuls minéraux pseudomorphiques qui devraient être conservés sont ceux qui prennent la forme d'un autre et qui de plus sont susceptibles de le remplacer complétement.

Il est d'ailleurs facile de comprendre que quand des minéraux ont cristallisé simultanément, ils ont pu s'associer et s'envelopper en toute proportion; c'est du reste ce qui ne tardera pas à devenir encore plus évident.

2° — L'enveloppement est quelquefois accompagné d'orientation, et alors il convient encore de distinguer plusieurs cas. Envelopp[em] avec orienta[tion]

L'orientation s'observe à l'état rudimentaire dès que les deux minéraux sont groupés l'un par rapport à l'autre avec quelque symétrie.

C'est, par exemple, ce qui paraît avoir lieu dans la galène de Neudorf au Hartz qui forme une croûte mince plus ou moins régulière autour de la chaux carbonatée. D'après MM. Schéerer et Blum, cette galène est en cristaux très-brillants qui atteignent la grosseur d'une noisette et présentent des combinaisons de l'octaèdre, du cube, du dodécaèdre rhomboïdal; elle enveloppe la chaux carbonatée, et de plus elle en est enveloppée; son épaisseur se réduit souvent à celle d'une feuille de papier.

Le grenat offre la même particularité à Arendal, à la Bergstrasse et au Canigou; car ses cristaux enveloppent de la chaux carbonatée qui est également cristallisée, et l'épaisseur de leurs parois peut devenir microscopique. Quelquefois aussi un cristal de grenat enveloppe de l'épidote vert pistache qui enveloppe à son tour de la chaux carbonatée. En outre, le grenat peut envelopper de même du feldspath, du quartz, de l'hornblende, du diallage, du gypse, etc.

L'idocrase de Christiansand qui s'est formée dans le

calcaire saccharoïde est en gros cristaux qui ont seulement quelques lignes d'épaisseur et qui enveloppent aussi de la chaux carbonatée.

Le mica phlogopite se montre en lamelles brun-rougeâtre qui revêtent d'une manière très-remarquable le pyroxène de Monroe et qui sont disposées presque perpendiculairement à ses faces.

Le mica qui s'est formé dans l'hornblende, l'augite, l'iolite, la pinite, la chlorophyllite, présente quelquefois une direction déterminée, et ses lamelles sont parallèles.

Le feldspath de la syénite de Norwége enveloppe, comme on l'a vu, la natrolite qui, à son tour, enveloppe un noyau de ce même feldspath.

La chaux fluatée enveloppe concentriquement de la pyrite de fer.

L'orientation est encore bien visible dans la mâcle (andalousite) qui a groupé avec symétrie le schiste qu'elle enveloppe. Elle apparaît aussi dans certains cristaux de quartz hyalin qui contiennent de petits grains de quartz, lesquels sont cristallins et bien distincts; ces derniers sont groupés parallèlement aux faces, soit du prisme hexagonal régulier, soit de la pyramide qui le surmonte. C'est, par exemple, ce que M. Des Cloizeaux a observé dans le quartz du Brésil.

Il a constaté également que le spath d'Islande renferme des grains isolés de chaux carbonatée qui généralement sont groupés parallèlement aux faces du métastatique ou bien à celles du rhomboèdre primitif. Quand de la pyrite est disséminée en grains microscopiques dans de la chaux carbonatée spathique, elle se groupe aussi suivant le même plan. Enfin il en est de même pour la chlorite (ripidolite) qui est enveloppée par la dolomie de Traverselle.

Mais l'orientation peut encore être beaucoup mieux

caractérisée que dans les exemples précédents; et alors elle a lieu à la fois dans les deux minéraux, soit par rapport à un centre, soit par rapport à des axes: suivant l'un ou l'autre de ces cas, elle est donc centrale ou axiale.

Orientation centrale.

Les gîtes métallifères offrent quelquefois une orientation centrale bien marquée. Ainsi à la Chevrette, dans le Dauphiné, le fer spathique enveloppe le quartz, et tous deux présentent des cristaux orientés vers un centre; il en résulte une structure en cocarde. D'après M. Burat, il en est de même pour la pyrite de cuivre, la blende, la galène qui sont enveloppées par le pyroxène fibreux et radié des mines de la Toscane.

Enfin, les roches qui ont la structure globuleuse nous offrent surtout des exemples bien nets d'enveloppement avec orientation centrale. Dans le Rapakivi de Finlande et dans certains porphyres, l'oligoclase enveloppe l'orthose, autour duquel il forme une auréole régulière. Dans la pyromeride de Corse, les globules sont composés de feldspath cristallisé en aiguilles qui partent de la circonférence ou du centre et qui suivent la direction des rayons. Dans la diorite orbiculaire, le feldspath enveloppe de l'amphibole hornblende, et les lamelles de ces deux minéraux sont orientés vers le centre en même temps qu'elles sont groupées suivant des zones concentriques (1).

L'orientation centrale peut visiblement avoir lieu pour des minéraux de composition très-diverse. Quand elle est bien régulière, comme dans les minéraux globuleux, elle donne une structure en cocarde.

Orientation axiale.

Mais l'orientation par rapport à des axes ou axiale est encore plus remarquable: car alors les deux miné-

(1) *Recherches sur les roches globuleuses*, par M. Delesse. (*Mémoires de la Soc. géol.*, 2ᵉ s., t. IV, p. 301.)

raux ont leurs axes qui sont parallèles ou bien inclinés sous un certain angle. Ces axes peuvent même se confondre. De plus, il y a quelquefois orientation entre les faces et les clivages des deux minéraux.

L'enveloppement avec orientation axiale s'observe surtout très-bien dans les variétés d'un même minéral. Ainsi, dans son ouvrage sur la chaux carbonatée, le comte de Bournon appelle déjà l'attention sur « un genre d'accroissement de cristaux par lequel un cristal secondaire déjà formé sert de noyau à la formation d'un nouveau cristal (1). » Il décrit même plusieurs exemples d'enveloppement dans lesquels des cristaux de chaux carbonatée sont orientés autour d'un même axe. Il suffira de citer celui représenté *fig.* 5 qui provient du Derbyshire. Le noyau intérieur est un dodécaèdre pyramidal ou métastatique, autour duquel s'est développé un rhomboèdre très-allongé; ce métastatique a une couleur brune et se distingue très-bien du rhomboèdre qui est incolore et transparent.

Le quartz présente aussi une sorte d'enveloppement avec orientation axiale; car, d'après M. G. Rose, des cristaux de quartz déviant tantôt à droite, tantôt à gauche, peuvent être groupés et orientés autour du même axe.

L'enveloppement avec orientation axiale s'observe d'ailleurs entre des minéraux très-divers, et je vais en citer plusieurs exemples.

Le cuivre sulfuré de Redruth présente quelquefois, comme l'a indiqué M. Blum, des prismes à six faces, dans l'intérieur desquels se sont formés des cristaux tétraédriques de phillipsite (*fig.* 9). L'association de ces deux minéraux a été attribuée au pseudomorphisme; mais, pour tous les échantillons que j'ai examinés, elle

(1) *Traité complet de la chaux carbonatée*, t. II, p. 310.

me paraît s'expliquer de la manière la plus naturelle en admettant une cristallisation contemporaine. Il est probable, en effet, que le cuivre sulfuré s'est solidifié d'abord et vers la partie extérieure du cristal; puis la philipsite se trouvant emprisonnée a cristallisé elle-même en se groupant régulièrement à l intérieur du cristal et autour de son axe. Comme la philippsite est irisée, il est assez facile de la distinguer du cuivre sulfuré qui a l'éclat vitreux. Si vers la limite il y a une sorte de passage entre les deux minéraux, ou si l'un envoie des veines dans l'autre, il faut l'attribuer à l analogie de leur composition et à leur cristallisation contemporaine; car il n'est pas rare de voir les sulfures et en particulier les sulfures de cuivre se pénétrer mutuellement de la manière la plus intime.

Un fer oligiste spéculaire très-surbaissé qui provient des Alpes Suisses et se trouve à la collection du Muséum, enveloppe des cristaux allongés et aplatis de rutile, qui sont groupés suivant trois directions bien déterminées (*fig.* 16). Ces cristaux sont perpendiculaires aux côtés d'un triangle équilatéral nettement indiqué par les stries qui correspondent aux clivages suivant trois des faces du rhomboèdre primitif; de plus, ils sont orientés vers son axe.

Quelquefois, il est vrai, le rutile, même lorsqu'il est seul, offre des aiguilles qui se croisent suivant un réseau triangulaire. Mais lorsqu'il a cristallisé dans le fer oligiste, il est de plus perpendiculaire aux stries résultant des clivages de ce dernier. Les deux minéraux sont donc bien orientés l'un par rapport à l'autre; ils présentent deux systèmes de triangles ayant leurs côtés perpendiculaires; dans l'exemple qui vient d'être cité, ils sont en outre orientés autour d'un même axe.

Les silicates offrent assez souvent une orientation

axiale, et elle est surtout facile à constater dans ceux qui cristallisent bien et qui sont simplement des variétés d'une même espèce.

Je citerai d'abord comme exemple la tourmaline de Chesterfield, qui est verte à l'extérieur et rose à l'intérieur. Elle présente, en effet, un cristal complexe dans lequel l'enveloppement a lieu autour d'un axe commun et entre deux variétés du même minéral. De plus, la tourmaline cristallise quelquefois symétriquement autour d'autres minéraux, et M. Schéerer annonce même qu'il a observé dans celle de Norwége, un noyau allongé qui était formé de quartz hyalin et de feldspath.

D'après MM. Hermann et Auerbach, l'épidote et l'orthite, qui sont des minéraux isomorphes, donnent aussi lieu à enveloppement avec orientation.

Une émeraude de Santa-Fé en Colombie qui se trouve à la collection du Muséum, présente un prisme hexagonal régulier, transparent, ayant une belle couleur verte. Dans ce prisme est implanté un prisme hexagonal et bipyramidé de quartz hyalin dont l'axe est parallèle à celui de l'émeraude (*fig.* 8).

M. Schéerer a constaté que l'orthose de la pegmatite d'Hitteröe est en cristaux orientés parallèlement, entre lesquels du quartz a été enveloppé (*fig.* 14). Ce quartz présente alors des prismes rhombes très-allongés, dont les faces se croisent sous un angle de 65° qui est précisément celui des faces latérales de l'orthose. Il est donc visible que le quartz encore liquide s'est logé entre les interstices de l'orthose, dont il a emprunté la forme.

Le disthène, la staurotide, l'andalousite, qui sont tous des silicates d'alumine, offrent souvent l'orientation axiale.

Le disthène peut envelopper complétement la staurotide; c'est notamment ce qu'on observe très-bien dans

les schistes cristallins du Saint-Gotthard (1). Mais, de plus, il arrive quelquefois que les deux minéraux ont leur axe longitudinal commun ou bien dans des directions parallèles; qu'en outre, les faces M du disthène et o de la staurotide qui correspondent au clivage le plus facile pour ces deux minéraux sont elles-mêmes parallèles (2).

Dans un échantillon de la collection de M. Adam, la disposition est celle que montre la *fig.* 6, et les minéraux ont deux de leurs faces parallèles M et o qui se confondent en une seule (*fig.* 6); en outre, la staurotide s'est formée seulement dans l'une des moitiés du disthène qui est mâclé.

Maintenant la staurotide peut à son tour envelopper le disthène; et alors cet axe ainsi que les faces ci-dessus désignées restent encore parallèles (*fig.* 7). Le disthène enveloppé est souvent mâclé.

Quand les deux minéraux sont orientés, il arrive quelquefois qu'ils s'enchevêtrent intimement l'un dans l'autre et qu'ils sont séparés par une ligne brisée très-irrégulière, comme il est très-facile de le constater sur une même face par la différence de leur couleur brune et bleue.

Le disthène et la staurotide donnent un exemple remarquable d'enveloppement réciproque accompagné d'orientation.

L'andalousite et le disthène peuvent encore être cités; car l'andalousite de Lisens, dans le Tyrol, enveloppe le disthène qui occupe le centre de ses cristaux et qui se distingue bien par sa couleur grise, par son clivage et par tous ses caractères (3). D'un

(1) Wiser: Kenngott. — *Uebersicht des mineralogischer Forschungen*, 1855 et 1857, 100.
(2) Les notations des faces sont celles de Haüy.
(3) Blum. *Die Pseudomorphosen*, 17.

autre côté, le disthène enveloppe aussi l'andalousite.

Les bisilicates ayant la formule du pyroxène offrent une orientation d'autant plus intéressante à signaler qu'elle s'observe invariablement dans certaines roches. Ainsi, le diallage qui s'est formé dans la serpentine n'est pas toujours homogène, comme l'indique la variation de couleur que présente un même cristal; cette circonstance est surtout bien visible, lorsqu'une partie du cristal prend une couleur vert émeraude par suite de la présence du chrome.

Un cristal d'amphibole hornblende peut quelquefois n'être pas homogène et renfermer dans son intérieur une autre variété d'amphibole, notamment de l'actinote. C'est, par exemple, ce qui s'observe dans les schistes cristallins.

L'asbeste de Kragerœ, en Norwége, est orientée comme l'hornblende qu'elle enveloppe et à laquelle elle passe insensiblement vers les bords du cristal. Les fibres de l'asbeste sont parallèles à l'axe de l'hornblende, et le clivage se continue même d'un minéral dans l'autre. Cette association est analogue à celle qu'offre l'ouralite.

Il peut arriver aussi qu'un cristal d'amphibole ou de pyroxène qui est implanté sur une roche passe à l'asbeste, soit vers ses arêtes latérales, soit vers son extrémité libre.

Comme l'ont constaté MM. G. Rose et Haidinger, l'hornblende et le diallage sont fréquemment associés. Dans l'euphotide, par exemple, l'hornblende enveloppe généralement le diallage, duquel elle se distingue facilement par sa couleur brune ou vert foncé; ces deux minéraux ont leurs axes parallèles, ainsi que les faces des orthopinakoïdes.

La même orientation s'observe entre l'hornblende et l'hypersthène, notamment dans l'hypérite.

Elle se retrouve encore dans l'ouralite, où elle a lieu de la même manière entre l'hornblende et l'augite. D'après M. G. Rose, l'ouralite réunit, en effet, la forme de l'augite et le clivage de l'hornblende. Tantôt le cristal d'ouralite présente dans toute son épaisseur le clivage de 124° 30' qui est caractéristique de l'hornblende; tantôt, au contraire, l'hornblende enveloppe un noyau d'augite. Si l'on suppose ce dernier cas, on obtiendra la *fig.* 17 par une coupe parallèle à la base, faite dans le cristal d'ouralite. L'hornblende et l'augite sont d'ailleurs associés d'une manière très-remarquable, puisque leurs faces ainsi que leurs clivages sont orientés. La troncature de l'arête latérale correspondant à l'angle antérieur (aigu) de l'augite est parallèle à la troncature de l'arête correspondant à l'angle également antérieur (obtus) de l'hornblende. En outre, les deux minéraux ont leur axe principal parallèle ou même commun.

Enfin l'augite joue à l'égard du schillerspath le même rôle que l'hornblende à l'égard du diallage. Car, dans le schillerfels du Hartz, il enveloppe le schillerspath, duquel il se distingue dès le premier abord par l'absence d'éclat semi-métallique. L'augite et le schillerspath ont d'ailleurs leurs axes parallèles; de plus, ils sont orientés de manière que le clivage le plus facile de l'augite, qui est parallèle à la petite diagonale, se confonde avec celui du schillerspath; et par suite ce clivage se prolonge d'un minéral dans l'autre.

Si l'amphibole enveloppe généralement le pyroxène dans les associations de bisilicates desquelles je viens de parler, l'inverse peut aussi avoir lieu, et l'on retrouve encore la même orientation axiale. Tel est le cas, d'a-

près MM. Blum et Schéerer, pour le pyroxène de Traverselle en Piémont, ou pour la traversellite; en effet, l'extérieur de ses cristaux est formé de pyroxène malacolite verdâtre et transparent, tandis qu'à l'intérieur se montre une amphibole en lamelles allongées, dont l'axe est parallèle à celui du pyroxène; cette amphibole a une couleur plus foncée et elle est bien reconnaissable à son clivage; elle passe quelquefois à une asbeste soyeuse.

L'ouralite et la traversellite offrent donc pour le pyroxène et l'amphibole un exemple d'enveloppement axial et réciproque.

Les micas présentent aussi des phénomènes d'orientation qui doivent être rapprochés des précédents; car, d'après Haidinger, le mica jaunâtre de Sibérie peut renfermer des paillettes de lépidolithe, fleur de pêcher, qui lui sont parallèles. De plus, M. G. Rose a observé que le mica alumineux et blanc d'argent enveloppe fréquemment du mica ferro-magnésien de couleur noirâtre ou brun tombac. Les lamelles des deux micas ont également leur clivage parallèle. Quelquefois même elles forment des cristaux complets dont les axes sont orientés (*fig.* 13).

M. Haidinger a encore signalé des cristaux de barytocalcite qui sont recouverts par de la chaux carbonatée orientée, de manière que dans les deux minéraux les clivages soient presque parallèles. Bien que ces minéraux n'aient pas la même forme, on peut remarquer que l'angle du rhomboèdre et du clivage, qui est de 105°5′ dans la chaux carbonatée, diffère peu de l'angle du clivage de la barytocalcite qui est de 106° 54′.

La dolomie de Grossarl en Salzbourg enveloppe de l'asbeste dont les fibres sont orientées parallèlement aux trois arêtes qui se réunissent au sommet du rhom-

boèdre. L'enveloppement avec orientation axiale s'observe alors entre un carbonate et un silicate; et bien que les axes des deux minéraux ne soient ni parallèles, ni perpendiculaires, ils se croisent cependant sous l'angle des arêtes du rhomboèdre avec son axe et par conséquent sous un angle déterminé.

Lorsque deux minéraux présentent une orientation axiale, ils peuvent différer complétement de forme et de composition; toutefois, il existe souvent entre eux de grandes analogies, et leur forme ou leur composition, quelquefois l'une et l'autre, se trouvent être les mêmes. Ainsi, l'épidote et l'orthite ont la même forme, bien qu'elles ne se laissent pas représenter par la même formule. Il en est de même pour les tourmalines et sans doute aussi pour les micas. Maintenant l'amphibole (hornblende, actinote, asbeste) et le pyroxène (diallage, hypersthène, augite) sont des bisilicates qui sont susceptibles de dériver de la même forme. L'orientation dans laquelle l'axe est commun s'observe donc surtout entre les minéraux d'une même famille ou entre les variétés d'une même espèce minérale.

Proportion du minéral enveloppé et enveloppant.

— Quelle est maintenant la proportion du minéral enveloppé? Il est facile de voir qu'elle peut être très-grande et même bien supérieure à celle du minéral enveloppant.

La chaux carbonatée quartzifère de Fontainebleau, même quand elle a cristallisé en rhomboèdres très-nets, renferme jusqu'à 65 p. 100 de sable. Quand elle est simplement concrétionnée ou globuleuse, elle en renferme plus de 80 p. 100. Dans cette circonstance, le sable était une matière inerte, mélangée à la chaux carbonatée et qui devait gêner sa cristallisation; cependant sa proportion était déjà très-grande. Mais quand les deux minéraux ont cristallisé simultanément, ils se

sont moins gênés et leur proportion peut, pour ainsi dire, être quelconque.

On sait, par exemple, que le quartz renferme souvent une multitude d'aiguilles de rutile et de paillettes de mica ou de chlorite qui y sont disséminées de la manière la plus intime.

Le grenat d'Arendal, qui enveloppe de la chaux carbonatée saccharoïde, est quelquefois aussi mince qu'une feuille de papier ; c'est lui, toutefois, qui a modelé cette chaux carbonatée ; et on le conçoit facilement, puisqu'au moment de leur cristallisation les deux minéraux devaient avoir une certaine plasticité.

Lorsque le grenat a cristallisé dans le quartz, il en a de même enveloppé une très-grande proportion. C'est, par exemple, ce que j'ai constaté dans les schistes cristallins du Saint-Gotthard. Le grenat s'y montre en nodules ou en dodécaèdres rhomboïdaux, et souvent il est bordé par une petite auréole de quartz ; lorsqu'on casse ce grenat, qui est rouge et qui au premier abord paraît homogène, on y voit beaucoup de quartz grenu et saccharoïde qui se distingue facilement par sa couleur blanchâtre (*fig.* 11). Bien que le grenat ait donné sa forme cristalline à l'association de ces deux minéraux, il est cependant en proportion très-petite relativement au quartz.

Les globules de certaines roches feldspathiques comme la pyroméride sont formés de feldspath et de quartz hyalin. Dans l'un d'eux provenant de Wuenheim, jai trouvé 88 de silice, ce qui suppose environ 1/3 de feldspath et 2/3 de quartz. Quoique la formation de ce globule paraisse surtout devoir être attribuée au feldspath, le quartz s'y trouve donc en quantité double.

En général, lorsque deux minéraux sont associés et s'enveloppent, leur proportion est très-variable ; c'est

tantôt le minéral enveloppant et tantôt le minéral enveloppé qui domine; suivant les circonstances, l'un ou l'autre d'entre eux peut d'ailleurs diminuer insensiblement et enfin disparaître complétement.

Comme les forces qui déterminent la cristallisation ont une grande énergie, de même que toutes celles qui accompagnent les changements d'état, le minéral enveloppant se trouve quelquefois en proportion tellement petite qu'il est entièrement dissimulé par le minéral enveloppé.

— Tels sont les faits, et maintenant il importe d'en rechercher les causes.

Causes de l'enveloppement

Or lorsque la cristallisation de deux minéraux a été contemporaine, quoi de plus naturel que leur enveloppement? Pour les silicates en particulier, il est d'autant plus facile à concevoir que les roches silicatées n'ont pas toujours été amenées à l'état de fluidité complète; elles sont restées visqueuses, plus ou moins plastiques comme les laves; dans certains cas, elles étaient même voisines de l'état solide. La séparation des différentes substances s'opérait donc avec peine, en sorte qu'un minéral se formait dans l'intérieur d'un autre minéral et indépendamment de ce dernier. Si l'on jette les yeux sur le tableau de l'enveloppement, on voit de suite qu'un minéral peut en renfermer beaucoup d'autres dont la composition est pour ainsi dire quelconque. D'un autre côté, lorsque la composition de ces minéraux est à peu près la même, leur développement s'explique très-simplement par une cristallisation contemporaine. Ainsi le grenat et l'idocrase, qui ont une composition très-voisine, devront fréquemment s'envelopper. Il en sera de même pour l'andalousite et le mica; car, bien que leur composition soit différente, leur proportion de silice et d'alumine est à peu près égale. Cette

remarque s'applique aussi aux principaux silicates qui sont intimement pénétrés de mica ; ils renferment, en effet, les mêmes substances élémentaires qui sont dans des proportions sinon égales, du moins assez voisines. Si l'on considère des oxydes, on comprend par la même raison que le fer oligiste et le fer oxydulé soient souvent associés et qu'ils s'enveloppent réciproquement. En général, l'enveloppement sera très-fréquent et très-intime et de plus il aura lieu en toute proportion, lorsque les deux minéraux appartiendront à la même espèce, à la même famille ou lorsqu'ils offriront quelque analogie dans leur composition.

Il est d'ailleurs un cas dans lequel l'enveloppement paraît surtout résulter d'une cristallisation simultanée; c'est lorsque cet enveloppement est accompagné d'orientation.

Ainsi, le feldspath et le quartz ont cristallisé en même temps et au moment où les globules de la pyroméride se sont formés. Il en est de même pour le quartz et le fer spathique du Dauphiné, pour le grenat qui enveloppe le calcaire saccharoïde.

Si le quartz de la pegmatite d'Hitteroœ est en prismes rhombes d un angle de 65°, cela tient non pas à ce qu'il a pseudomorphosé l'orthose, mais à ce qu'étant encore liquide, il a été enveloppé par lui, au moment où la pegmatite a cristallisé.

De même, la staurotide et le disthène, l'andalousite et le disthène ont cristallisé avec les micaschistes dans lesquels ils s'observent.

Si le mica blanc d'argent enveloppe le mica brun noirâtre, il faut l'attribuer à un départ qui s'est opéré entre ces micas au moment de la cristallisation du granite qui les renferme.

La même remarque s'applique à la tourmaline de

Paris (Maine) qui est rose à l'extérieur et verte à l'intérieur. Ces deux variétés de tourmaline, qui s'enveloppent et qui appartiennent au même cristal, ont dû se former ensemble; et cependant, d'après les analyses de M. Rammelsberg, elles présentent des différences notables dans leur composition chimique.

C'est encore par suite d'un départ qui s'est opéré au moment de la cristallisation, que l'hornblende enveloppe l'actinote dans les schistes cristallins; et il est d'autant plus facile de se rendre compte de cette séparation, que plusieurs variétés d'amphibole, comme l'hornblende, l'actinote, l'arfvedsonite, la krokidolite, se rencontrent dans la syénite zirconienne et se sont par conséquent formées dans une même roche.

Si le pyroxène passe à l'asbeste, il faut aussi l'attribuer à des différences originaires dans la composition chimique de ces deux substances si intimement associées, la première contenant généralement plus de chaux et la deuxième plus de magnésie.

Le diallage dans l'euphotide, l'hypersthène dans l'hypérite, sont enveloppés par une zone d'hornblende; or, on peut l'expliquer aisément, car l'hornblende contient toujours une petite quantité d'alcalis, et par suite il est naturel qu'elle se soit formée au contact du bisilicate avec la pâte feldspathique de ces roches.

L'ouralite résulte également de la cristallisation de l'hornblende au contact de l'augite avec la pâte feldspathique de certains porphyres. Cette hornblende a pris, il est vrai, la forme de l'augite qu'elle enveloppe, mais elle cristallise dans le même système que l'augite, et M. Weiss a montré qu'elle peut dériver de la même forme primitive. De plus, M. Rammelsberg a établi par des analyses très-précises que l'amphibole et le pyroxène se laissent représenter par la même formule

qui est celle des bisilicates. Malgré de grandes différences dans leurs propriétés physiques et chimiques, l'hornblende et l'augite appartiennent donc en réalité à une même espèce minérale dont elles sont simplement des variétés; par conséquent l'hornblende peut très-bien prendre dans certains cas la forme ainsi que les modifications de l'augite, et c'est précisément ce qui a lieu dans l'ouralite.

L'étude des roches nous apprend d'ailleurs que l'amphibole et le pyroxène se développent quelquefois simultanément. Car dans le basalte, dans l'ophite, dans les tufs volcaniques, l'hornblende se montre associée à l'augite. Dans le gneiss et dans les schistes cristallins l'hornblende et l'actinote sont accompagnés de pyroxène salite et hédenbergite. Le calcaire et la dolomie saccharoïde renferment, jusque dans le même gisement, la plupart des variétés connues d'amphibole et de pyroxène; telles sont notamment pour l'amphibole : l'hornblende, l'actinote, la pargasite, la tremolite, l'asbeste; pour le pyroxène : le coccolite, le malacolite, la fassaïte, le salite, le diopside, la pyrallolite, la wollastonite, la pitkarandite.

Le pyroxène et l'amphibole peuvent, du reste, se développer dans une même roche sans être associés et orientés comme dans l'ouralite. Tantôt ces minéraux sont indépendants et complétement séparés; tantôt, comme MM. Blum et Sandberger l'ont remarqué dans les tufs de Czerloschin et du Westerwald, ils s'enveloppent partiellement ou complétement, sans qu'il y ait aucune orientation.

Mais c'est l'ouralite qui offre par excellence l'association de l'amphibole et du pyroxène; en effet, quand elle renferme un noyau d'augite, elle réunit de la manière la plus évidente l'hornblende et l'augite dans un

même cristal. Dans ce cas particulier très-remarquable, l'hornblende et l'augite, au lieu d'être simplement disséminés dans la même roche, sont intimement associés, et, de plus, orientés autour du même axe. Chacun de ces minéraux s'est du reste développé en proportion très-variable, suivant diverses circonstances tenant à son gisement et à la nature de la roche qui lui sert de gangue; l'un ou l'autre a même pu disparaître complétement, et alors il en est résulté, soit de l'augite, soit de l'hornblende conservant la forme de l'augite.

L'association de l'augite et du schillerspath dans la serpentine (schillerfels) du Hartz me paraît encore être le résultat d'une cristallisation simultanée; toutefois, ces deux minéraux ne se laissent pas représenter par la même formule, et tandis que le premier est anhydre, le second contient plus de 12 p. 100 d'eau.

Lorsque des minéraux ont la même forme cristalline et aussi la même formule chimique, ils sont isomorphes d'après M. Mitscherlisch; lorsqu'ils ont une forme très-voisine, quelle que soit d'ailleurs leur composition, ils sont homœomorphes d'après MM. Hermann Kopp et Laurent.

On sait d'ailleurs qu'un cristal d'alun mis successivement dans des solutions d'alun ayant des bases différentes, continue à croître et offre une série de zones polyédriques et concentriques qui sont bien distinctes par leur couleur et par leur composition; le cristal complexe d'alun qui se produit alors donne un exemple d'enveloppement et d'orientation qui a été obtenu dans le laboratoire. On comprend donc que pour des minéraux isomorphes se formant dans une roche silicatée plus ou moins plastique, il pourra de même y avoir enveloppement et orientation. Tel est précisément le cas

qui se présente pour plusieurs des minéraux qui viennent d'être examinés, notamment pour les tourmalines, pour les variétés de pyroxène et d'amphibole, ainsi que pour l'ouralite.

Si, comme l'a fait remarquer M. Schéerer, l'eau joue dans les silicates le rôle d'une base, des silicates anhydres pourront d'ailleurs cristalliser en même temps que des silicates hydratés et de plus leur être isomorphes. C'est ce qui explique l'enveloppement et l'orientation de l'hornblende et du diallage dans l'euphotide. De même il est possible qu'il faille attribuer à l'isomorphisme ou bien à l'homœomorphisme l'association de l'augite et du schillerspath dans le schillerfels du Hartz, ainsi que celle de divers minéraux anhydres avec des minéraux hydratés.

Du reste, nous avons vu que l'association avec orientation s'observe même entre des minéraux qui diffèrent complétement de forme et de composition.

En résumé, l'enveloppement de deux minéraux, surtout lorsqu'il est accompagné d'orientation, s'explique très-simplement par une cristallisation contemporaine. Ces minéraux peuvent avoir une composition et une forme quelconque; cependant, quand l'orientation a lieu autour d'un axe, il y a généralement quelque analogie dans leur forme ou dans leur composition; de plus, pour le mica, la tourmaline, l'ouralite et pour divers exemples qui ont été cités, les deux minéraux associés sont les variétés d'une même espèce minérale.

Hâtons-nous d ajouter toutefois que ces faits peuvent aussi s'interpréter d'une manière toute différente, et des savants éminents de l'Allemagne, notamment MM. G. Rose, Haidinger, Blum, G. Bischof, Rammelsberg en ont cherché l'explication dans le pseudomorphisme. Leur exemple n'a pas tardé à être suivi par la plupart des

minéralogistes, et actuellement cette dernière hypothèse est de beaucoup la plus généralement adoptée.

Après avoir exposé notre manière de voir, il est donc nécessaire de discuter plus complétement l'origine des minéraux enveloppés ou enveloppants, et c'est ce que nous allons essayer.

Un minéral enveloppé est antérieur contemporain ou postérieur au minéral enveloppant.

— Lorsqu'un minéral est enveloppé dans un autre, trois cas seulement peuvent se présenter, suivant qu'il lui est antérieur, contemporain ou postérieur.

Ainsi, le quartz en grains qui est enveloppé par la chaux carbonatée de Fontainebleau lui est évidemment antérieur. Dans ce cas, il y a simplement mélange du minéral enveloppé qui est resté inerte. Mais les circonstances dans lesquelles le minéral enveloppé est antérieur sont assez exceptionnelles et le plus généralement il est contemporain ou postérieur.

Le minéral enveloppé est contemporain de celui qui l'enveloppe, surtout quand l'enveloppement est accompagné d'orientation, comme dans les divers exemples qui viennent d'être cités; et c'est notamment bien visible pour le disthène et la staurotide, l'hornblende et l'actinote, l'hornblende et le diallage, l'hornblende et l'hypersthène, l'hornblende et l'augite dans l'ouralite, le feldspath et le quartz dans les roches globuleuses. Cependant, la solidification des deux minéraux ne s'est pas opérée absolument au même instant, et généralement l'un d'eux s'est formé avant l'autre.

Il est même possible que l'un ou l'autre d'entre eux résulte d'une cristallisation nouvelle de la roche qui le renferme, et, en un mot, d'un métamorphisme. Si l'on prend l'ouralite pour exemple, l'hornblende, dans cette hypothèse, se serait développée aux dépens de l'augite qui lui est antérieur et qui aurait conservé sa forme première. Le pseudomorphisme de l'augite serait alors

comparable à celui qui s'opère dans la porcelaine de Réaumur, et il aurait eu lieu par des actions moléculaires, la roche restant à l'état solide. La cristallisation de l'ouralite ne serait d'ailleurs plus simultanée, elle comprendrait deux phases bien distinctes et pouvant être fort éloignées. Toutefois, cette dernière hypothèse me paraît sujette à bien des objections; elle n'expliquerait pas tous les cas d'enveloppement avec orientation, surtout ceux dans lesquels la composition des deux minéraux est très-différente; elle est d'ailleurs beaucoup moins simple que celle que nous avons adoptée.

Enfin, le minéral enveloppé peut aussi être postérieur; c'est ce qui a lieu lorsqu'un minéral se forme, par une cause quelconque, à l'intérieur d'un autre. Si l'on considère, en effet, un minéral, son altération engendre quelquefois des cavités, lors même qu'il n'en présentait pas originairement et qu'il était entièrement compacte; quand un minéral nouveau vient ensuite prendre naissance dans ces cavités et se substituer au minéral originaire, il y a non-seulement enveloppement, mais encore pseudomorphisme. Il est donc facile de comprendre comment l'enveloppement et le pseudomorphisme sont deux phénomènes liés d'une manière tellement intime qu'il ne soit pas toujours possible d'en tracer nettement la limite.

C'est du reste ce qui s'appréciera encore mieux par les développements dans lesquels je vais entrer maintenant.

En effet, suivant les circonstances, un même minéral enveloppé est tantôt contemporain et tantôt postérieur. Cette anomalie, qui paraît très-bizarre au premier abord, est d'ailleurs assez fréquente, et il convient d'en citer des exemples pris dans les principales familles de minéraux.

Parmi les sulfures, le cuivre sulfuré est souvent associé à la philippsite et nous avons vu qu'il peut l'envelopper; d'un autre côté, les observations dues à W. Philipps, Haidinger et Blum ne permettent guère de douter que le cuivre sulfuré ne soit aussi susceptible de se transformer en philippsite; quelquefois même les cristaux tabulaires et hexagonaux de cuivre sulfuré ont subi ce pseudomorphisme seulement à l'extérieur, et leur intérieur n'a pas été altéré.

Parmi les oxydes, le fer oligiste et le fer oxydulé sont souvent réunis dans le même gisement, comme il est facile de le constater sur les minerais de l'île d'Elbe ou de la Scandinavie; bien qu'ils soient l'un et l'autre cristallisés, ils se mélangent et s'enveloppent en toutes proportions. Cela n'empêche pas cependant que dans certaines circonstances le fer oxydulé n'ait été altéré et pseudomorphosé en hæmatite ou en fer oligiste.

Le quartz, qui est enveloppé par le feldspath dans la pegmatite et dans les roches globuleuses telles que la pyroméride, a cristallisé en même temps que ce feldspath; d'un autre côté, il se forme très-souvent par infiltration dans les cavités qui se produisent à l'intérieur d'autres minéraux, et il peut même les remplacer complétement; il est alors postérieur et par conséquent pseudomorphique.

Lorsque le minéral enveloppé est un silicate, il semble devoir être contemporain du minéral qui l'enveloppe; car les silicates sont très-peu solubles et c'est par l'infiltration que se forme le plus souvent un minéral enveloppé qui est postérieur. Cependant cela n'a pas toujours lieu, non-seulement pour les hydrosilicates, mais même pour les silicates.

Ainsi, lorsque dans le granite, le mica brun tombac est enveloppé et orienté dans le mica blanc d'argent, je

pense que ces deux minéraux sont contemporains et qu'ils ont cristallisé en même temps que le granite lui-même. Le mica brun tombac, noirâtre ou ferromagnésien qui se trouve dans les laves, les trachytes, les porphyres et généralement dans les roches éruptives, s'est formé de même au moment où ces roches ont cristallisé. D'un autre côté, d'après MM. Blum, Haidinger, Bischof, certains micas se montrent aussi sous la forme des feldspaths. M. G. Rose a même constaté dans le granite de Hirschberg, en Silésie, que du mica alumineux blanc verdâtre et en petites lamelles a pris naissance autour de l'orthose qui est alors altéré et comme rongé à sa surface ; ce même mica tapisse en outre les fissures de l'orthose ; il paraît alors résulter d'une infiltration, et par suite d'un pseudomorphisme. Quand le mica s'observe dans un autre minéral, ce qui est d'ailleurs un cas très-fréquent, il peut donc être contemporain ou postérieur, originaire ou pseudomorphique, et la question ne laisse pas que d'être fort délicate à décider.

La chlorite donne lieu à la même ambiguïté ; celle qui constitue les roches chloritiques et qui a cristallisé en grandes lamelles dans le fer oxydulé ou dans le grenat, me paraît être contemporaine de ces roches ; ce qui n'empêche pas que la chlorite ne puisse aussi se former par infiltration, notamment la variété connue sous le nom de ripidolite La même remarque s'appliquerait au talc et surtout à la stéatite.

Les carbonates s'observent souvent à l'intérieur d'autres minéraux, et cela peut encore résulter, soit d'un enveloppement, soit d'un pseudomorphisme. Car la chaux carbonatée qui est à l'intérieur du grenat de la Bergstrasse a certainement cristallisé avec le grenat lui-même ; mais, dans certains gisements, la chaux car-

bonatée s'est au contraire substituée au grenat qui a été détruit. On la connaît également dans la forme du feldspath et d'autres minéraux qu'elle a remplacés; en un mot, bien qu'elle soit très-fréquemment enveloppée, c'est de même que le quartz l'une des substances pseudomorphiques les plus fréquentes.

Le fer carbonaté est aussi, tantôt contemporain et tantôt postérieur aux minéraux par lesquels il est enveloppé.

Il n'est pas jusqu'au gypse pour lequel il n'en soit de même ; car il s'observe quelquefois à l'intérieur du grenat, notamment du pyrope, et rien ne s'oppose à ce qu'il ait cristallisé en même temps que lui. Il est aisé de constater, en effet, que le gypse grenu et micacé du Saint-Gotthard a cristallisé avec les schistes cristallins et grenatifères dans lesquels il est intercalé.

D'un autre côté le gypse se forme très-facilement par infiltration, et quand il est enveloppé par un minéral, il peut s'être introduit dans les interstices résultant de son altération ; il est alors postérieur et pseudomorphique.

Un minéral enveloppé ou enveloppant n'est pas nécessairement pseudomorphique.

— Les détails dans lesquels je viens d'entrer montrent que si un minéral enveloppé ou enveloppant peut être pseudomorphique, il s'en faut de beaucoup que cela ait toujours lieu.

Souvent les deux minéraux associés ont cristallisé en même temps et ils sont contemporains. C'est ce qui me paraît incontestable pour certains minéraux, notamment pour ceux qui sont enveloppés et orientés, tels que le disthène et la staurotide, l'amphibole et le pyroxène, ainsi que toutes leurs variétés.

C'est encore visible pour les silicates qui entrent essentiellement dans la composition des roches et en

général pour les minéraux qui n'ont pas été produits par l'infiltration.

D'ailleurs, quand bien même les deux minéraux qui s'enveloppent ne sont pas contemporains, il n'y a pas toujours pseudomorphisme. Car l'épidote, par exemple, se montre souvent dans les feldspaths de divers porphyres; elle leur donne sa couleur vert pistache et elle forme dans leurs cristaux des nids et des veines microscopiques indiquant bien qu'elle leur est postérieure; toutefois elle ne les remplace jamais complétement et elle reste même en assez petite proportion; à vrai dire, il n'y a donc pas pseudomorphisme, mais simplement imprégnation et par suite enveloppement.

Il ne suffit pas, évidemment, qu'un minéral s'observe dans un autre pour qu'on soit en droit de le regarder comme pseudomorphique; il faut encore qu'il en prenne complétement la forme.

Suivant les circonstances, un même minéral enveloppé est antérieur, contemporain ou postérieur à celui qui l'enveloppe; c'est dans ce dernier cas seulement qu'il peut être pseudomorphique, mais il ne l'est pas nécessairement.

res minéraux ardés comme seudomorphiques.

— Remarquons encore que l'isomorphisme explique très-bien des faits que l'on a souvent attribués au pseudomorphisme.

Les anciens minéralogistes, notamment Romé de Lile, de Bournon, considéraient le fer spathique comme le résultat d'une cémentation qui, s'opérant sur des cristaux de chaux carbonatée, avait substitué l'oxyde de fer à la chaux. L'explication semblait d'autant plus naturelle qu'on trouve quelquefois des cristaux de chaux carbonatée qui sont visiblement pseudomorphosés en fer spathique; toutefois, elle a dû être complétement abandonnée et restreinte à quelques cas

particuliers, depuis que M. Mitscherlisch a établi l'isomorphisme des carbonates de chaux et de fer.

Je pense que la même remarque s'applique à d'autres minéraux qui maintenant encore sont considérés comme pseudomorphiques, mais qui, en réalité, sont simplement isomorphes.

Si, par exemple, l'achmite renferme plus de 10 p. 100 de soude, il ne faut pas en conclure que cet alcali ait été introduit par la décomposition d'une autre variété de pyroxène telle que l'œgirine, contenant de la chaux et plus de protoxyde fer; peu de minéraux ont, en effet, des formes plus nettes, un éclat plus vif, et portent moins de traces d'altération. L'achmite et l'œgirine sont visiblement deux variétés de pyroxène à base de fer et de soude, et elles correspondent à l'arfvedsonite ainsi qu'à la krokidolite dans le groupe de l'amphibole.

De même, je n'ai pas réuni l'asbeste aux minéraux pseudomorphiques; car rien n'indique, comme l'admettent plusieurs minéralogistes, qu'elle résulte de la décomposition de l'amphibole ou du pyroxène; or, si elle avait quelque tendance à une décomposition, la ténuité de ses fibres rendrait cette dernière très-facile; de plus, bien que la chaux s'y trouve quelquefois en petite quantité ou bien même y fasse tout à fait défaut, il n'en est pas toujours ainsi; les asbestes du Zillerthal, de la Tarentaise, de Danemora contiennent, en effet, plus de 15 p. 100 de chaux; je pense d'après cela que l'asbeste est simplement une variété fibreuse d'amphibole ou de pyroxène. Je ferai d'ailleurs observer que les principales variétés d'amphibole et de pyroxène peuvent prendre une structure fibreuse et plus ou moins voisine de l'asbeste. C'est notamment ce qui a lieu pour la trémolite, l'actinote (strahlstein), l'horn-

blende, la krokidolite, le diopside, la traversellite, la pittkarandite et enfin pour la breislakite qui se forme encore dans les laves modernes. Il est donc bien évident que la structure asbestiforme s'est produite originairement dans des bisilicates présentant une composition chimique très-variée.

Divers minéraux, qui ont reçu des noms particuliers, paraissent être encore en voie d'altération ; j'ai évité de les admettre sur le tableau, me bornant à ceux qui sont complétement pseudomorphosés et qui correspondent à une espèce minérale généralement adoptée.

J'ai également cru devoir laisser de côté une partie des minéraux plus ou moins altérés qui ont été considérés comme pseudomorphiques et nommés serpentine, ophite, stéatite, speckstein, steinmarck, terre verte, etc. Car plusieurs analyses faites dans ces derniers temps ont montré que la composition qui leur était attribuée différait entièrement de celle de ces dernières substances.

Les considérations dans lesquelles je viens d'entrer suffisent pour faire voir combien les limites du pseudomorphisme sont difficiles à tracer ; et si divers minéraux, généralement regardés comme pseudomorphiques, ne figurent pas dans le tableau général qui suit, il faut l'attribuer à ce que les cas incertains ont autant que possible été élagués.

Pour dresser ce tableau, j'ai eu recours aux importantes recherches de M. Blum et à celles de tous les minéralogistes qui se sont occupés de la question ; en outre, j'ai réuni et discuté, en examinant les principales collections minéralogiques de Paris, les nombreux résultats qui ont été fournis jusqu'à présent par l'étude du pseudomorphisme.

Les minéraux sont d'ailleurs groupés par famille et classés d'après la méthode de M. Dana.

Les variétés d'une espèce minérale qui ont reçu des noms spéciaux sont inscrites entre parenthèse à la suite du nom adopté pour cette espèce.

Dans la première colonne, à gauche du tableau, se trouvent les minéraux pseudomorphiques, tandis que les substances originaires ou pseudomorphosées sont dans les colonnes suivantes : ces substances peuvent être non organisées ou organisées.

La disposition adoptée est la même que pour l'enveloppement; elle fait bien voir comment les minéraux pseudomorphiques ou pseudomorphosés se répartissent dans les différentes familles; elle permet aussi d'embrasser immédiatement tous les effets du pseudomorphisme.

(*Voir le tableau II.*)

TABLEAU II.

MINÉRAL PSEUDOMORPHIQUE.	CORPS SIMPLES.	SULFURES, ARSÉNIURES.	FLUORURES, CHLORURES.	OXYDES
CORPS SIMPLES.				
Argent.	....	Argent sulfuré, Argent rouge.	Bromure d'argent.	....
Cuivre.	....	....	....	Cuivre oxydulé.
Antimoine.	....	....	....	Valentinite.
Soufre.	....	....	....	....
Graphite.	....	Pyrite.		
SULFURES, ARSÉNIURES.				
Argent sulfuré.	Argent. . .	Argent rouge.		
Philippsite.	....	Galène, Cuivre sulfuré. .	....	....
Galène.	....	Bournonite.	Cotunnite. . .	....
Blende.	....	....	Chaux fluatée.	....
Cuivre sulfuré.	Cuivre? . .	Galène, Pyrite de cuivre.	....	....
Cinabre.	....	Pyrite, Cuivre gris.	....	....
Pyrite.	....	Argent sulfuré, Galène, Blende, Pyrite magnétique, Marcasite, Leucopyrite, Mispickel, Pyrite de cuivre, Pyrargyrite, Argent rouge, Polybasite.	Chaux fluatée.	Fer oxydulé, E Limonite, Quar
Marcasite.	....	Argent sulfuré, Pyrite, Argent noir (Stéphanite)	Chaux fluatée.	Limonite, Quartz
Leucopyrite.	....	Argent noir.		
Mispickel.	....	Pyrite magnétique.		
Covelline.	....	Pyrite de cuivre.		
Pyrite de cuivre.	....	Blende, Cuivre sulfuré, Pyrite magnétique, Tellure auroplombifère, Cuivre gris, Alkinite.	....	Fer oxydulé. . .
Hétéromorphite.	....	Plagionite.		
Argent rouge.	Argent.			
Cuivre gris.	....	Galène.		
Stéphanite.	....	Polybasite.		
FLUORURES, CHLORURES.				
Sel marin.	....	....	....	....
Chlorure d'Argent.	Argent. . .	Argent rouge, Bournonite.		
Chaux fluatée.	....	....	....	....
OXYDES.				
Cuivre oxydulé.	Cuivre. . .	Pyrite de cuivre.		
Fer oxydulé.	....	....	....	Hæmatite. ....
Zinc oxydé.	....	Blende.		

			ORGANISÉ
ILICATES / YDROSILICATES.	TUNGSTATES, SULFATES, PHOSPHATES, ARSÉNIATES.	CARBONATES.	VÉGÉTAU / ANIMAU
. . . .	. . . .	. . . .	•
. . . .	. . . .	Aragonite. . . .	• . . . .
. . . .	. . . .	. . . .	• . . . .
. . . .	. . . .	. . . .	. . . .
. . . .	Pyromorphite. . . .	Chaux carbonatée, Plomb carbonaté.	• . . . .
. . . .	. . . .	Chaux carbonatee, Dolomie. . . .	. . . .
. . . .	. . . .	. . . .	•
. . . .	. . . .	. . . .	• . . . .
. . . .	Baryte sulfatée, Anhydrite.	Chaux carbonatée, Dolomie, Fer carbonaté, Aragonite.	• . . . .
. . . .	Baryte sulfatée. . . .	Chaux carbonatée.	
. . . .	. . . .	Fer carbonaté. . . .	• . . . .
. . . .	. . . .	Dolomie.	
. . . .	Baryte sulfatée. . . .	Chaux carbonatée. . . .	• . . . .
le, Mica, Sphène. . .	. . . .	Fer carbonaté.	

TABLEAU [illegible] (Suite).

MINÉRAL PSEUDOMORPHIQUE.	CORPS SIMPLES.	SULFURES, ARSÉNIURES.	FLUORURES, CHLORURES.	OXYDES
OXYDES (suite).				
Hématite.	....	Pyrite, Marcasite, Galène.	Chaux fluatée.	Fer oxydulé, G... monite, Cuar...
Cuivre oxydé noir. ...	....	Cuivre sulfuré, Pyrite de cuivre.	....	Cuivre oxydulé...
Oxyde d'étain.	....	....	....	Quartz. ....
Braunite.	....	....	....	Manganite. ..
Hausmannite	....	....	....	Manganite. ..
Rutile.	....	....	....	Anatase.
Brookite.	....	....	....	....
Pyrolusite.	....	....	....	Manganite, Psi...
Minium.	....	Galène.	....	....
Gœthite.	....	Pyrite.	....	Cuivre oxydulé.
Manganite.	....	....	....	....
Limonite.	....	Galène, Blende, Pyrite, Marcasite, Leucopyrite.	Chaux fluatée.	Cuivre oxydulé... dulé, Gœthite... Quartz.
Psilomelane.	....	....	Chaux fluatée.	Pyrolusite. ..
Wad.	....	....	....	Pyrolusite. ..
Atacamite.	Cuivre.			
Acide arsénieux. ...	....	Réalgar.		
Valentinite.	Antimoine	Antimoine sulfuré, Kermès.		
Bismuth oxydé.	....	Aikinite.		
Kermès	....	Antimoine sulfuré.		
Cervantite.	....	Antimoine sulfuré.		
Quartz, Calcédoine, Opale et variétés.	....	Antimoine sulfuré, Galène, Blende, Pyrite.	Chaux fluatée.	Cuivre oxydulé... Manganite, Q... riétés.
SILICATES.				
Pinite, Bonsdorffite, Pyrargillite.	....	....	....	....
Mica.	....	....	....	....
Feldspath (Orthose). .	....	....	....	....
Feldspath vitreux (Eisspath).	....	....	....	....
Feldspath (Anorthose).	....	....	....	....
Gieseckite, Liebnerite.	....	....	....	....
Tourmaline.	....	....	....	....

...É.

...SÉE.			ORGANISÉE.
SILICATES HYDROSILICATES.	TUNGSTATES, SULFATES, PHOSPHATES, ARSENIATES.	CARBONATES.	VÉGÉTAUX ANIMAUX.
Feldspath........	Baryte sulfatée, Anhydrite, Fer arséniate.	Chaux carbonatée, Dolomie, Fer carbonaté, Plomb carbonaté.	.....●
...th. ...e (Rhodonite).	....	Chaux carbonatée, Dolomie.	
...e (Bustamite)......	....	Chaux carbonatée, Dolomie, Smithsonite.	.....●
....	Pyromorphite.....	Chaux carbonatée, Plomb carbonaté.	
...e............	Baryte sulfatée, Vivianite.	Chaux carbonatée, Dolomie, Smithsonite, Plomb carbonaté.	
....	....	Chaux carbonatée.	
...e, Emeraude, Grenat, ...otide, Tourmaline, ...menite, Comptonite.	Baryte sulfatée, Gypse, Pyromorphite, Scorodite, Fer arséniaté.	Chaux carbonatée, Dolomie, Fer carbonaté, Ankerite, Smithsonite, Plomb carbonaté.	●....●
....	Baryte sulfatée, Fer arséniaté.		
....	....	Chaux carbonatée.	
...e (Augite), Hornblende ...tique, Grenat, Paran..., Mica, Feldspath, Cala..., Analcime, Natrolite, ...zite, Heulandite, S...l-... Datholite.	Chaux tungstatée, Wolfram, Baryte sulfatée, Célestine, Anhydrite, Gypse, Plomb sulfate, Pyromorphite.	Chaux carbonatée, Dolomie, Fer carbonaté, Diallogite, Smithsonite, Plomb carbonaté, Barytocalcite.	
Dichroïte, Cordiérite)?			
...e? Paranthine? Epi... ? Néphéline? Feldspath ...ose, Anorthose), Tour...e.	....	....	●
...nite, Prehnite, Anal... ...gène.	....	Chaux carbonatée.	
...hine. ...line. ...a.			

TABLEAU II. (Suite.)

MINÉRAL PSEUDOMORPHIQUE.	CORPS SIMPLES.	SULFURES, ARSÉNIURES.	FLUORURES, CHLORURES.	OXYDES.
SILICATES HYDRATÉS MAGNÉSIENS.				
...éatite, talc				Quartz, Silex
...me de mer				Silex ?
...entine				
...rite			Chaux fluatée.	Limonite, Quartz
...tonite				
...re verte				Martite
SILICATES HYDRATÉS NON MAGNÉSIENS.				
...ectolite				
...uivre hydrosiliceux (Chrysocolle, Kupferpecherz).	Cuivre	Galène, Philippsite, Cuivre sulfuré, Pyrite de cuivre, Cuivre gris.		Cuivre oxydulé
...horite (Orangite)				
...alamine		Galène, Blende		
...rehnite				
...arpholite				
...nalcime				
...homsonite				
...atrolite				
...olezite				
...rgiles (Kaolin, Lithomarge, Halloysite, Lenzinite, Collyrite, etc.)		Pyrite	Sel marin, Chaux fluatée.	Quartz
TUNGSTATES, MOLYBDATES.				
...cheelin calcaire				
...lomb molybdaté		Galène.		
...olfram				
...lomb vanadaté		Galène		
SULFATES.				
...ryte sulfatée				
...				
...			Sel marin.	

PSEUDOMORPHISME.

...E			
...ÉE.			ORGANISÉE.
SILICATES HYDROSILICATES.	TUNGSTATES, SULFATES, PHOSPHATES, ARSÉNIATES.	CARBONATES.	VÉGÉTAUX ANIMAUX.
e (Augite), Amphibole, le, Couzeranit, Mica, e, Pectolite, Analcime, ?. ole, Péridot, Grenat.	Baryte sulfatée. . . .	Chaux carbonatée, Magnésie carbonatée, Dolomie.	● . . . . ●
Paranthine (Couzeranite), Axinite.	. . . .	Chaux carbonatée, Oligonspath. . .	●
e (Fassaïte).			
e (Augite), Amphibole blende), Prehnite, sie.	Baryte sulfatée. . . .	Chaux carbonatée.	
e.			
. . . .	Lihéthénite, Chalkophyllite.	Dolomie, Plomb carbonaté, Azurite.	
th.			
. . . .	Pyromorphite,Plomb vanadate.	Chaux carbonatée, Dolomie.	
ite, Leonhardite. Anal- Natrolite, Scolezite.	. . . .	Chaux carbonatée.	
. . . .	Wolfram.		
ite.	. . . .	Chaux carbonatée?	
ne.			
. . . .	. . . .	Chaux carbonatée.	
llite.	. . . .	Chaux carbonatee.	
e, Emeraude, Paran- (Porcellanspath, Cou- te), Sodalite, Amphi- Feldspath (Orthose, hose), Andalousite, e.	Wolfram, Apatite. .	. . . .	● . . . ●
. . . .	Wolfram.		
. . . .	Chaux tungstatée.		
e.			
e.	. . . .	Chaux carbonatée, Withérite, Barytocalcite.	● . . . . ●
. . . .	. . . .	Chaux carbonatée, Witherite.	. . . . . ●

TABLEAU II. (Suite.)

MINÉRAL PSEUDOMORPHIQUE.	CORPS SIMPLES.	SULFURES, ARSÉNIURES.	FLUORURES, CHLORURES.	OXYDES.
SULFATES (*suite*).				
omb sulfaté.	......	Galéne.		
lyhalite.	......	......	Sel marin.	
pse.	......	......	Sel marin.	Quartz.
sperose.	......	Pyrite.		
anite.	......	......	......	......
PHOSPHATES, ARSÉNIATES.				
atite.	......	......	......	......
romorphite.	......	Galéne.	......	......
udotriplite.	......	......	......	......
aux arséniatée.	......	Réalgar.		
ianite.	......	......	......	......
balt arséniaté.	......	Cobalt arsenical.		
oxène.	......	......	......	......
aunite.	......	......	......	......
CARBONATES.				
haux carbonatée.	......	Galéne.	Sel marin. Chaux fluatée.	Quartz, Silex.
olomie.	......	......	Chaux fluatée.	......
reunnerite.	......	......	......	......
er carbonaté.	......	Pyrite, Galéne.	Chaux fluatée.	......
allogite.	......	Galéne.	......	......
mithsonite.	......	Galéne, Blende.	Chaux fluatée.	Zinc oxydé.
rragonite	......	......	......	......
Vithérite.	......	......	......	......
lomb carbonaté.	......	Galène.	Cotunnite, Chaux fluatée.	......
alachite.	Cuivre.	Pyrite de cuivre, Cuivre gris	......	Cuivre oxydulé.
zurite.	......	Cuivre gris.	......	Cuivre oxydulé.
ippeite (Uranochre).	......	......	......	Pechblende.
ismuthite.	Bismuth.	Bismuth sulfuré.		
SUBSTANCES ORGANIQUES.				
ignite, Houille, Anthracite.	......	......	......	......

PSEUDOMORPHISME.

...AIRE

ORGANISÉ. | ORGA...

SILICATES ET HYDROSILICATES.	TUNGSTATES, SULFATES, PHOSPHATES, ARSÉNIATES.	CARBONATES.	VÉGÉ... ANIM...
...	Anhydrite. ...	Chaux carbonatée, Aragonite. ...	...
...	...	...	...
...	Couperose.	Plomb carbonaté.	
...	...		
...	Tryphilline.		
...	...	Chaux carbonatée. ...	...
...	...	Fer carbonaté.	
...	Vivianite.		
Pyroxène, Grenat, Feldspath, Pectolite.	Baryte sulfatée, Anhydrite, Gypse, Pyromorphite.	Dolomie, Aragonite, Gaylussite. ...	...
...	Baryte sulfatee, Anhydrite	Chaux carbonatée, Plomb carbonaté.	...
...	Baryte sulfatée. ...	Chaux carbonatée. Plomb carbonaté.	...
...	Baryte sulfatée. ...	Chaux carbonatee, Dolomie. ...	...
...	...	Chaux carbonatee.	
...	Baryte sulfatée. ...	Chaux carbonatée. ...	...
...	Gypse. ...	Withérite. ...	...
...	Baryte sulfatée. Gypse.		
...	Baryte sulfatée, Plomb sulfaté, Plomb sulfato-carbonaté, Linarite.	Chaux carbonatée. ...	...
Calamine. ...	...	Chaux carbonatée, Plomb carbonaté, Azurite.	...
...	...	Dolomie, Plomb carbonaté. ...	...
...	Uranite.		
...	...	...	...

Lorsqu'on examine le tableau du pseudomorphisme, on voit de suite qu'il comprend des minéraux qui sont extrêmement variés. Mais avant de faire connaître les résultats généraux, il est utile de signaler quelques cas particuliers qui sont tout à fait analogues à ceux de l'enveloppement.

Et d'abord, observons que le pseudomorphisme peut avoir lieu entre les variétés d'un même minéral.

Je citerai, par exemple, le quartz hyalin dont les cristaux sont quelquefois détruits et remplacés par une autre variété de quartz, notamment par la calcédoine ou par l'opale qui conservent la même forme. Parmi les corps organisés, le rostre des bélemnites, qui est un calcaire fibreux, se change dans certains cas en chaux carbonatée blanche et spathique, comme dans la brèche de Villette et dans les roches métamorphiques des Alpes.

Le pseudomorphisme de variétés d'un même minéral est du reste assez exceptionnel, et il s'observe surtout pour les minéraux les plus répandus.

On a vu que le paramorphisme n'est autre chose qu'un pseudomorphisme qui a lieu sans modification dans la composition chimique ; il rentre donc dans le cas particulier que nous étudions maintenant. Il s'observe dans l'arragonite, dans la pyrite, dans la marcasite et même dans quelques silicates. Ainsi l'épidote d'Arendal offre quelquefois un gros cristal de plusieurs centimètres de longueur, qui est formé intérieurement par un grand nombre de lamelles entre-croisées d'épidote. Ce cristal est comme moiré sur ses faces, et il a visiblement subi une métamorphose dans sa structure ; mais sa composition chimique et sa forme extérieure ne paraissent pas avoir changé. La paranthine de Norwége peut également présenter un cristal unique qui, simple en apparence, est composé d'une multitude de

cristaux confus et radiés. Dans ces divers exemples, il y a simplement changement dans l'état moléculaire, et c'est précisément ce qui caractérise le paramorphisme.

Pseudo- phisi récipro

—De même que l'enveloppement, le pseudomorphisme de quelques minéraux peut être réciproque; car si le spath fluor pseudomorphose la chaux carbonatée, cette dernière, à son tour, pseudomorphose le spath fluor.

Il en est de même pour divers minéraux parmi lesquels je citerai l'argent natif et l'argent rouge, la galène et le plomb phosphaté, le cuivre sulfuré et la pyrite de cuivre, la pyrite de fer et la marcasite, la pyrite de fer et l'hématite, le fer oxydulé et l'hématite, l'hématite et la limonite, le grenat et la chaux carbonatée, le feldspath et la chaux carbonatée, le scheelin calcaire et le wolfram, la chaux carbonatée et le gypse, la chaux carbonatée et la dolomie. Enfin, le graphite pseudomorphose la pyrite et réciproquement la pyrite pseudomorphose le bois qui est essentiellement formé de carbone.

Suivant les circonstances qui ont présidé à la formation de ces minéraux, les réactions qui se sont produites étaient donc tout à fait inverses.

Résult généra du pseud phism

— L'examen du tableau nous permet d'embrasser d'un seul coup d'œil les résultats généraux du pseudomorphisme. Ils peuvent être formulés de la manière suivante pour les principales familles du règne minéral :

Substa non orga

Les corps simples sont rarement pseudomorphiques. Quand ce sont des métaux tels que l'argent, le cuivre, l'antimoine, ils proviennent ordinairement de la réduction de minerais qui contenaient ces mêmes métaux.

Les sulfures et les arseniures pseudomorphosent le plus souvent d'autres sulfures et arseniures. Cependant ils se substituent aussi à quelques oxydes, à la baryte sulfatée, à la chaux carbonatée et en général aux minéraux des gîtes métallifères. Du reste, ils n'ont pas été

observés sous la forme de silicates, ni même d'hydrosilicates.

Parmi les sulfures pseudomorphiques, la pyrite de fer est de beaucoup le plus important, ce qui s'explique par sa grande fréquence dans toute espèce de roches.

Les oxydes pseudomorphosent des minéraux qui sont extrêmement variés et qui appartiennent à toutes les familles. Ils remplacent généralement d autres oxydes, mais aussi des carbonates, des sulfures, des sulfates, des silicates, des hydrosilicates, quelquefois même des corps simples, des arséniures, des fluorures, des phosphates, des arséniates, des tungstates. La limonite et le quartz donnent le plus grand nombre de pseudomorphismes.

Les silicates et même les hydrosilicates pseudomorphosent surtout des minéraux de la même famille; cependant les hydrosilicates prennent également la forme de carbonates et de minéraux très-variés. Il est, du reste, assez rare que les silicates anhydres soient pseudomorphiques.

Les tungstates, les molybdates, les sulfates, les phosphates, les arséniates, ainsi que les carbonates, pseudomorphosent généralement les minéraux des gîtes métallifères. Parmi les carbonates, la chaux carbonatée mérite une mention spéciale comme l'un des minéraux pseudomorphiques les plus importants.

Lorsqu'on envisage les résultats dans leur ensemble, on voit qu'un minéral se substitue très-fréquemment à un autre appartenant à la même famille ; c'est du moins ce qu'il est facile de constater pour les sulfures, les oxydes, les silicates, les hydrosilicates et les carbonates.

D'un autre côté, le tableau permet de bien apprécier la grande variété du pseudomorphisme; car la chaux carbonatée, la dolomie, la chaux fluatée, la baryte

sulfatée, le quartz, la pyrite de fer, la galène, sont pseudomorphosés par des minéraux très-divers. Remarquons d'ailleurs que ces substances sont très-fréquentes dans les gîtes métallifères et dans les roches anormales; qu'en outre, elles peuvent se décomposer et se dissoudre plus facilement que la plupart des silicates constituant l'écorce terrestre.

Les substances organisées, qu'elles proviennent d'animaux ou de végétaux, sont aussi fréquemment pseudomorphosées. Substances organisées

Tantôt les tiges et même les feuilles de végétaux sont minéralisées; tantôt ce sont les débris de toutes espèces d'animaux, notamment les têts des mollusques, les carapaces des crustacés, les os et les dents des vertébrés. Il importait peu de donner les noms des nombreuses espèces du règne animal ou végétal qui ont été pseudomorsphosées, mais il fallait désigner spécialement les divers minéraux qui les avaient remplacées; à cet effet, les lettres *v* ou *a* ont été placées dans la colonne des substances organisées et en regard de chaque minéral, suivant qu'il pseudomorphosait des végétaux ou des animaux.

Les substances organisées provenant, soit d'animaux, soit de végétaux, peuvent du reste être pseudomorphosées par des minéraux appartenant à toutes les familles.

Parmi les corps simples, le cuivre s'observe sous la forme de poissons ou de plantes dans le schiste cuivreux et bitumineux de l'Allemagne. L'argent natif se montre en petites lamelles dans le cuivre sulfuré qui pseudomorphose ces mêmes plantes. Le soufre de Terruel, en Aragon, prend la forme des graines de chara et des planorbes.

Les sulfures pseudomorphosent assez fréquemment les corps organisés. La pyrite de fer qui est extrêmement

répandue dans les terrains stratifiés mérite d'être mentionnée tout spécialement; cependant on connaît aussi divers corps organisés qui sont pseudomorphosés par le cuivre sulfuré, la pyrite de cuivre, la phillipsite, la blende, la galène et même par le cinabre.

La chaux fluatée se rencontre quelquefois sous la forme d'arbres et de végétaux.

Parmi les oxydes, on trouve l'hæmatite, la pyrolusite, ainsi que l'hydroxyde de fer. Le quartz et ses nombreuses variétés pseudomorphosent encore très-souvent les corps organisés, surtout ceux qui sont riches en carbone comme les végétaux.

Les silicates eux-mêmes se montrent dans la forme des corps organisés. Ainsi les plantes du terrain anthraxifère des Alpes sont quelquefois pseudomorphosées par un mica blanc nacré, très-doux au toucher, et en lamelles microscopiques, qui est habituellement désigné sous le nom de talc. Le talc lui-même a été signalé par M. Blum comme pseudomorphosant les graphtolites du Voigtlande et aussi les plantes de la grauwacke ancienne dans le duché de Nassau. De plus, une espèce de chlorite remplace les feuilles et toutes les parties de fougères appartenant au rothliegende des environs de Zwickau.

L'argile et le sable ont d'ailleurs été introduits dans les troncs évidés de calamites et de diverses plantes dont la forme a été bien conservée.

Bien que les zéolithes, telles que la mésotype et la chabasie, imprègnent souvent de la manière la plus intime le bois enveloppé dans les tufs volcaniques, il ne paraît pas qu'elles y produisent un véritable pseudomorphisme.

Les sulfates les plus répandus, la baryte sulfatée, la célestine, le gypse et même l'alunite pseudomorpho-

sent les végétaux ou les têts calcaires des mollusques.

Jusqu'à présent les phosphates ont à peine été signalés comme pseudomorphiques de substances organisées. Cependant le fer phosphaté bleu (vivianite) se développe à l'intérieur des ossements, dans le têt des mollusques et dans les végétaux; d'après M. Dana, il peut même remplacer complétement le rostre calcaire des bélemnites, comme on l'observe dans le New-Jersey.

Les carbonates pseudomorphosent fréquemment les substances organisées, notamment les carbonates de chaux, de magnésie, de fer et plus rarement ceux de plomb, de zinc, de cuivre.

Enfin, indépendamment des minéraux inorganiques, les minéraux organiques eux-mêmes peuvent être pseudomorphiques. Tantôt ils résultent de l'altération de substances organisées, et tantôt ils leur sont substitués par déplacement. M. Haidinger mentionne, par exemple, la houille qui a pseudomorphosé certains poissons du schiste cuivreux et bitumineux du Mansfeld. Il convient aussi de remarquer que la structure du bois s'observe très-bien dans le lignite, qu'elle se retrouve dans la houille et même jusque dans l'anthracite, notamment à Waldenburg, en Silésie; par conséquent ces combustibles peuvent être considérés comme pseudomorphiques, puisqu'ils ont une composition chimique bien différente de celle du bois dont ils ont cependant conservé la structure ou la forme.

Quant aux substances organiques cristallisées, elles sont assez rares dans l'écorce terrestre, et cette circonstance explique pourquoi jusqu'à présent on n'en a pas trouvé qui aient été pseudomorphosées.

Le pseudomorphisme des substances organisées provenant d'animaux ou de végétaux doit, comme dans le règne minéral, être uniquement attribué à des agents

physiques ou chimiques; mais leur formation elle-même résulte essentiellement des forces vitales. Bien que les agents physiques et chimiques ne cessent pas de s'exercer, ils sont alors réglés par ces dernières forces, qui produisent toutes les substances organisées du règne animal et du règne végétal. Quant à ces substances elles-mêmes, elles sont essentiellement organiques et composées de carbone, d'hydrogène, d'oxygène, d'azote, tandis que leurs parties les plus résistantes sont au contraire minérales; elles consistent, par exemple, en carbonate de chaux qui forme le têt des mollusques, en silice secrétée par les spongiaires, par les infusoires et par certains végétaux, en phosphate de chaux qui constitue surtout le squelette osseux des animaux vertébrés et qui se retrouve aussi dans les végétaux.

Quoique le phosphate de chaux soit extrêmement répandu dans la nature, il n'a offert jusqu'à présent qu'un seul cas de pseudomorphisme. Lorsqu'il compose les os ainsi que divers corps organisés, il est bien vrai qu'il se montre sous une forme empruntée; mais alors il doit cette forme à l'action des forces vitales.

— En résumé, les minéraux pseudomorphiques ou pseudomorphosés sont extrêmement variés. Ce sont, en effet, des corps simples, des sulfures, des arséniures, des chlorures, des fluorures, des oxydes, des silicates, des hydrosilicates, des tungstates, des molybdates, des sulfates, des phosphates, des carbonates et quelquefois même des substances organiques. Ils appartiennent donc à toutes les familles du règne minéral.

Certains minéraux n'ont pas encore été observés parmi ceux qui sont pseudomorphiques ou pseudomorphosés; mais alors ils sont généralement assez rares, et leur analogie avec d'autres espèces de la même famille permet de regarder leur pseudomorphisme comme possible.

D'ailleurs, les substances réputées les plus insolubles et les plus infusibles sont pseudomorphosées; telles sont le corindon, le spinelle, le quartz, l'amphigène, les silicates. Tandis que d'un autre côté, les substances pseudomorphiques peuvent être elles-mêmes insolubles et infusibles; car le graphite se substitue à la pyrite de fer, et les oxydes ou les silicates remplaçant fréquemment d'autres minéraux.

Enfin, par cela même qu'un minéral est souvent détruit complétement, un autre minéral, dès que les circonstances seront favorables, viendra se développer postérieurement et occupera l'espace laissé vide par le premier. Ainsi, de proche en proche, on est naturellement conduit à admettre qu'un grand nombre de minéraux peuvent être pseudomorphiques ou pseudomorphosés.

La généralité du pseudomorphisme montre bien toute son importance; mais l'étude des cas particuliers n'offre guère qu'un intérêt spécial, moindre, en tout cas, que celui qui lui a été attribué dans ces derniers temps.

Pseudomorphisme par altérati et par déplacemei

— Si l'on passe en revue les minéraux pseudomorphosés, bien qu'ils puissent appartenir à toutes les familles, on observe qu'ils sont relativement plus ou moins solubles ou décomposables. Ils sont aussi plus souvent détruits par altération que par déplacement; en sorte que dans le pseudomorphisme, le minéral nouveau se forme généralement aux dépens de l'ancien. Les métaux natifs, les sulfures, les arséniures, les oxydes métalliques qui se transforment fréquemment en sels ayant ces métaux pour bases ne laissent aucun doute à cet égard.

Les minéraux pseudomorphosés par déplacement ne sont pas très-variés. Ce sont notamment le sel marin, la chaux carbonatée, fluatée, sulfatée, la baryte sulfatée, le quartz, divers sulfures ou minerais métalli-

ques et accidentellement quelques silicates. Comme exemple remarquable de silicates pseudomorphosés par déplacement, on peut citer le feldspath et le quartz de Saint-Agnès, dans le Cornouailles, qui, au voisinage d'un filon d'oxyde d'étain, ont été imprégnés et même remplacés presque complétement par ce minerai.

Les minéraux pseudomorphosés par déplacement sont pour la plupart solubles dans les eaux, surtout dans celles qui sont chaudes et minérales, acides ou alcalines; et il est bien visible qu'ils appartiennent essentiellement aux gîtes métallifères, c'est-à-dire aux roches anormales.

La différence entre le pseudomorphisme par altération et le pseudomorphisme par déplacement n'est pas aussi tranchée qu'elle paraît l'être au premier abord; car il faut reconnaître qu'il est souvent impossible de savoir si les éléments communs au minéral pseudomorphosé et au minéral pseudomorphique sont réellement restés les mêmes.

De plus, lorsque ces éléments sont communs, rien ne s'oppose à ce qu'il y ait eu déplacement et non pas simplement altération. Ainsi, quand la chaux carbonatée se montre dans la forme du gypse, l'acide sulfurique a pu s'échanger contre l'acide carbonique, la chaux qui servait de base restant alors la même; d'un autre côté il est possible aussi que le gypse ait d'abord été complétement dissous, puis remplacé par de la chaux carbonatée.

Il y a encore déplacement, quand un oxyde pseudomorphose un autre oxyde, car l'oxygène ne se porte pas non plus d'un métal sur l'autre.

En général, lorsque les éléments communs aux deux minéraux considérés ne se trouveront pas à l'état libre dans les roches ou lorsqu'ils seront très-répandus, il règnera une grande incertitude sur le mode de pseudo-

morphisme et il sera très-difficile de décider s'il y a eu altération ou déplacement; toutefois cette incertitude sera moindre pour les minéraux formés d'éléments exceptionnels et notamment pour ceux des gîtes métallifères.

Comparaison du pseudomorphisme dans un même minéral.

— Un même minéral peut être tantôt pseudomorphique et tantôt pseudomorphosé; c'est même ce qui a lieu le plus généralement. Ces deux phénomènes sont du reste indépendants l'un de l'autre, et ils doivent nécessairement se produire dans des circonstances différentes, si ce n'est même tout à fait inverses.

Voici un tableau qui fait connaître, d'après les observations faites jusqu'à présent, le nombre de cas dans lesquels un même minéral est pseudomorphique ou pseudomorphosé; ce tableau comprend seulement les minéraux les plus importants :

Minéral.	*Pseudomorphique.*	*Pseudomorphosé.*
Pyrite	22	10
Chaux fluatée	2	14
Sel marin	1	5
Hæmatite	17	3
Limonite	29	4
Quartz	37	12
Péridot	»	1
Pyroxène	»	9
Amphibole	»	5
Grenat	»	6
Feldspath (orthose)	5	8
Feldspath (anorthose)	1	2
Amphigène	»	2
Mica	7?	3
Tourmaline	1	2
Talc et stéatite	14	»
Serpentine	3	»
Chlorite	8	»
Terre verte	7	»
Argiles	15	»
Baryte sulfatée	4	17
Anhydrite	1	6
Gypse	5	5
Chaux carbonatée	15	34
Dolomie	5	15
Fer carbonaté	6	7

On voit d'abord qu'un minéral peut très-bien être tantôt pseudomorphique et tantôt au contraire pseudomorphosé. Quelquefois même le pseudomorphisme produit dans ces deux cas est réciproque, comme nous l'avons constaté précédemment. Pour les minéraux les plus répandus dans la nature tels que le quartz, la chaux carbonatée, la pyrite, l'une ou l'autre alternative est très-fréquente.

D'un autre côté beaucoup de silicates comme le péridot, le pyroxène, l'amphibole, le grenat, l'amphigène, ne paraissent pas être pseudomorphiques; tandis qu'au contraire des hydrosilicates comme le talc, la serpentine, la chlorite, la terre verte, les argiles, ne sont pas pseudomorphosés. Parmi ces dernières substances, il en est bien comme les argiles qui éprouvent des métamorphoses dans leurs propriétés physiques ou chimiques; ainsi, par exemple, dans certains gisements les argiles sont silicifiées; toutefois, comme elles ne cristallisent pas et comme elles n'ont même pas de formes déterminées, l'étude de ces phénomènes n'appartient plus au pseudomorphisme.

Quoique des minéraux ne soient pas pseudomorphiques, ils peuvent très-bien être pseudomorphosés; les silicates notamment nous en offrent des exemples.

Les principaux minéraux pseudomorphiques sont la pyrite de fer, l'hæmatite, la limonite, le quartz, les hydrosilicates, surtout les hydrosilicates magnésiens.

Les principaux minéraux pseudomorphosés sont la chaux fluatée, le sel marin, la baryte sulfatée, l'anhydrite, le gypse, les carbonates.

Les premiers sont susceptibles d'être dissous, mais cependant peu solubles; tandis que les seconds sont relativement solubles.

Les minéraux qui, étant plus ou moins solubles, sont

en même temps très-répandus, donnent lieu au plus grand nombre de pseudomorphismes; ce sont le quartz, la chaux carbonatée, la pyrite et les oxydes de fer. Comme ils se trouvent dans des gisements extrêmement variés et comme les substances qui les composent existent aussi dans les eaux superficielles ou souterraines, il n'est d'ailleurs pas étonnant qu'ils soient tantôt pseudomorphiques et tantôt pseudomorphosés.

Voici du reste un tableau qui fait connaître le nombre des minéraux pseudomorphiques ou pseudomorphosés en les répartissant par familles. La première colonne verticale donne les minéraux pseudomorphiques; la deuxième les minéraux pseudomorphosés; la troisième les minéraux mixtes, c'est-à-dire ceux qui sont à la fois pseudomorphiques et pseudomorphosés : Comparai du pseudoi phism entre les di minérau

	Pseudo-morphique.	*Pseudo-morphosé.*	*Mixte.*
Corps simples	5	4	3
Sulfures, Arséniures	16	25	12
Chlorures, Fluorures	3	4	2
Oxydes	24	15	10
Silicates, Hydrosilicates	24	37	12
Sulfates, Phosphates, Tungstates, etc.	20	20	12
Carbonates	13	14	9
	105	119	60

On connaît dès à présent au moins 105 minéraux pseudomorphiques et 119 minéraux pseudomorphosés, soit en tout 224. Mais 60 minéraux sont mixtes et réduisent à 164 les minéraux pseudomorphiques et pseudomorphosés, qui sont réellement distincts. La proportion des minéraux mixtes est d'ailleurs $\frac{60}{164} = 0,37$, en sorte qu'elle est de plus du tiers.

Si l'on admet maintenant avec M. Naumann que le nombre total des minéraux connus soit de 642, on voit en définitive que la proportion des minéraux pour les-

quels il y a pseudomorphisme est $\frac{164}{642} = 0,26$; par conséquent, elle est égale au quart. Pour les minéraux pseudomorphiques, cette proportion dépasse le sixième des minéraux connus.

— Lorsqu'on étudie le gisement des minéraux pseudomorphiques et pseudomorphosés, on reconnaît qu'ils sont répartis d'une manière très-inégale dans les différentes roches. Cependant, c'est encore dans les roches métallifères et anormales qu'ils sont de beaucoup le plus fréquents. On peut d'ailleurs s'en rendre compte aisément; car ces roches ont la composition minéralogique la plus variée; elles renferment souvent des substances métalloïdes ou métalliques qui ne sont pas oxydées; elles sont très-poreuses et elles présentent même un grand nombre de druses ou de cavités; l'eau provenant soit de la surface, soit de l'intérieur de la terre, y trouve donc des conduits naturels et s'y infiltre très-facilement.

Dans les roches stratifiées normales, les minéraux pseudomorphiques appartiennent à un petit nombre d'espèces; ce sont généralement le quartz ou la silice à différents états, la chaux carbonatée, la pyrite, l'hæmatite et la limonite.

Les débris d'animaux et de végétaux sont très-fréquents dans les roches stratifiées qu'ils constituent même en partie; très-souvent ces corps organisés ont été pseudomorphosés et ils le sont encore par la silice, la chaux carbonatée, la pyrite et les oxydes de fer; cependant ils peuvent l'être aussi par un grand nombre d'autres minéraux qui sont indiqués par le tableau n° II (1).

Dans les roches éruptives, qu'elles soient ou ne

(1) R. Blum. *Nachtrag zu den Pseudmorphosen*, p. 152.

soient pas volcaniques, ainsi que dans les roches métamorphiques, les minéraux pseudomorphiques et pseudomorphosés sont principalement des silicates ou des hydrosilicates. Du reste, il était naturel qu'il en fût ainsi, puisque ces roches sont elles-mêmes essentiellement formées de silicates.

Productio des minéra pseudo-morphique

— La production de minéraux pseudomorphiques dans le laboratoire est un sujet d'études très-intéressant qui est bien propre à jeter du jour sur les procédés suivis par la nature. Déjà quelques recherches ont été faites dans cette voie, et dans ces derniers temps M. H. Clifton Sorby s'en est occupé d'une manière spéciale. Il a cherché à se mettre autant que possible dans les conditions mêmes de la nature. A cet effet, il a opéré sur des minéraux qu'il a traités par différentes dissolutions; puis il les a soumis à des températures qui restaient inférieures à 150°, mais qui étaient maintenues pendant plusieurs mois. Il a constaté ainsi qu'une température très-modérée, prolongée suffisamment, peut produire des changements très-importants dans les minéraux (1).

Voici quels sont les principaux résultats obtenus jusqu'à présent par différents observateurs qui se sont occupés de cette question :

M. Tamnau a constaté que dans les anciennes monnaies formées de cuivre et d'argent ce dernier métal peut se séparer à l'état natif.

M. Le Play a obtenu du fer métallique ayant encore la forme de l'hæmatite et du fer carbonaté spathique en réduisant ces minerais par l'oxyde de carbone dans les fours à porcelaine de Sèvres. Berzelius, faisant passer un courant d'hydrogène sulfuré sur des minerais de fer oxydés ou carbonatés, a produit, en opérant au-

(1) *Communication particulière de* M. H. C. Sorby.

dessous du rouge, de la pyrite de fer ayant les clivages et même l'éclat des minerais primitifs.

Le sulfure de plomb se produit en conservant la forme du plomb carbonaté, quand ce dernier est exposé à des vapeurs d'hydrogène sulfuré.

A Saint-Honoré, en Morvan, à 12 lieues d'Autun, le cuivre sulfuré a pris la forme de monnaies romaines en cuivre qui sont restées plongées dans des eaux minérales et sulfureuses.

D'après M. W. Stein, un cristal d'argent rouge se change au bout de quelques heures en sulfure d'argent, lorsqu'on le met dans une dissolution contenant un sulfure alcalin.

Le chlorure d'argent a été observé dans les anciennes monnaies d'argent longtemps enfouies sous terre. L'oxychlorure de cuivre se produit de même aux dépens des vieux instruments de bronze.

M. Haidinger a reconnu que le sulfate de fer, chauffé très-lentement jusqu'au rouge, donne du fer oligiste ayant la même forme (1).

Le fer et le cuivre métalliques, lorsqu'ils sont empâtés dans les laves, se changent en fer oligiste, en fer oxydulé, en cuivre oxydulé.

La chaux carbonatée est pseudomorphosée en hydroxyde de fer, lorsqu'elle est mise dans une liqueur contenant du sulfate de protoxyde de fer.

La magnésite, d'après M. W. Stein, est pseudomorphosée en une espèce de stéatite, lorsqu'elle est traitée par une dissolution de silice dans l'acide chlorhydrique.

Beudant indique qu'un cristal de sulfate de cuivre placé dans la craie humide se change en gypse à sa surface.

D'après M. Sorby, le gypse se change en baryte sul-

(1) G. Bischof. *Lehrbuch*, etc., t. II, p. 193.

fatée, quand on le traite par le chlorure de baryum, à la température ordinaire. La baryte carbonatée se transforme de même en baryte sulfatée quand elle est mise dans le sulfate de soude.

Le gypse est au contraire pseudomorphosé en chaux carbonatée, lorsqu'on laisse pendant plusieurs semaines dans une dissolution un peu concentrée de carbonate de soude à la température ordinaire. La forme du gypse, ses clivages, ses stries, sont bien conservés. A cette même température, les carbonates de cuivre, de zinc et de plomb pseudomorphosent la chaux carbonatée.

A une température de 100° à 150°, M. Sorby a produit des carbonates de fer et de magnésie dans la forme de la chaux carbonatée, de l'arragonite, de la baryte carbonatée; la chaux carbonatée dans la forme du spath fluor et de la baryte carbonatée; la baryte carbonatée ainsi que la strontiane carbonatée dans la forme de leurs sulfates.

Lorsque des minéraux partiellement ou complétement attaquables sont traités par les acides, le résidu de l'attaque conserve souvent la même forme; c'est, par exemple, ce que l'on observe très-bien pour le mica et pour certaines chlorites dont les paillettes ont encore l'éclat nacré.

M. Goeppert est parvenu à produire également quelques phénomènes de pétrifications dans les végétaux. Enfin, on sait que des dents d'animaux mises dans un sel de cuivre donnent un phosphate bleu qui imite la turquoise et qui s'emploie même dans la bijouterie.

Dans la nature, un minéral peut subir successivement plusieurs pseudomorphoses, et c'est aussi ce qu'on réalise dans le laboratoire; car M. Sorby a changé du gypse en chaux carbonatée, puis en carbonate de cuivre ou bien en carbonate de fer.

Les minéraux pseudomorphiques que nous offre la nature, sont dus pour la plupart à des actions très-lentes et peu énergiques, mais sans cesse renouvelées; ces conditions, d'une longue durée et d'un renouvellement des réactifs sont les principaux obstacles que rencontre leur production dans le laboratoire.

Résumé. — En résumé, les substances organiques ou inorganiques se présentent dans la nature sous des formes connues et bien déterminées; pour le règne minéral, leurs formes sont cristallines et résultent des actions moléculaires; pour le règne animal et végétal, leurs formes sont organisées et résultent essentiellement des forces vitales.

Lorsque des minéraux viennent se développer postérieurement et empruntent l'une ou l'autre de ces formes, il se produit un métamorphisme spécial qu'on peut nommer le pseudomorphisme.

Le pseudomorphisme a lieu par deux procédés très-différents, par infiltration ou par cristallisation. Le plus souvent il résulte d'une infiltration des eaux superficielles ou souterraines. Les eaux superficielles qui ont été précipitées par l'atmosphère contribuent à décomposer les minéraux et tendent surtout à les oxyder. Les eaux souterraines qui sont plus ou moins chaudes et minérales, renferment une grande variété de substances, en sorte que leurs réactions sont à la fois très-complexes et très-énergiques.

Dans certains gisements, le pseudomorphisme peut aussi résulter d'une cristallisation de la roche dans laquelle se trouve le minéral; il doit alors être attribué à des actions moléculaires.

Ces deux modes de pseudomorphisme ont leurs analogues dans le métamorphisme des roches.

ÉTUDES ET EXPÉRIENCES SYNTHÉTIQUES
SUR LE MÉTAMORPHISME
ET SUR LA FORMATION DES ROCHES CRISTALLINES.

Par M. DAUBRÉE,
Ingénieur en chef des mines, doyen de la Faculté des sciences de Strasbourg.

MÉMOIRE COURONNÉ PAR L'INSTITUT (ACADÉMIE DES SCIENCES),
dans la séance publique du 30 janvier 1860.

DEUXIÈME PARTIE (1).

EXPOSÉ DES FAITS ACQUIS DONT L'ENSEMBLE CONSTITUE LE MÉTAMORPHISME.

La variété des faits que j'ai à exposer m'engage à les grouper dans cinq chapitres. J'examinerai d'abord le *métamorphisme de juxtaposition;* en deuxième lieu le *métamorphisme régional.* Je passerai ensuite en revue le *métamorphisme de structure*, puis les phénomènes propres au gisement de la *dolomie*, du *sel gemme*, du *gypse*, du *soufre* et des *dépôts bitumineux;* enfin la *relation générale des gîtes métallifères et des sources thermales avec le métamorphisme.*

Les observations relatives au *gneiss ancien* dont l'origine est ambiguë, sont réservées pour la troisième partie, par laquelle se termine ce travail.

Cet exposé sera très-bref; car il a pour objet des faits bien connus, et qu'il faut rappeler seulement pour qu'on ait présentes à l'esprit les conditions auxquelles doit satisfaire l'explication théorique (2).

(1) Voir la première partie, page 155 de ce volume.

(2) Les exemples connus formeraient un traité de géologie

CHAPITRE PREMIER.

MÉTAMORPHISME DE JUXTAPOSITION (1).

...morphisme ...juxtaposition.

Quand une roche a fait éruption des profondeurs, les couches qu'elle traverse ont en général été modifiées dans son voisinage.

Variations ... l'étendue de la ...e modifiée.

Quelquefois cette modification des roches encaissantes est réduite à une lisière très-mince, de quelques millimètres, et les changements produits sur cette faible épaisseur sont même peu prononcés (2). Dans d'autres cas, et particulièrement quand la roche qui a percé est de nature granitique, l'étendue de la zone modifiée, aussi bien que les changements plus complets qui y ont été opérés, dénotent une action beaucoup plus énergique.

Non-seulement l'étendue de la zone modifiée varie suivant la nature de la roche éruptive, mais pour une même roche, et dans une même contrée, cette étendue présente de grandes différences (3). Près du granite, elle

---

descriptive tout entier; je ne les détaillerai pas et me bornerai à de simples énoncés : je renverrai pour ce qui les concerne aux excellents ouvrages de géologie générale, particulièrement à ceux de MM. Naumann, Studer et Lyell.

(1) Je crois devoir me servir de cette dénomination, au lieu de celle de métamorphisme de *contact* que l'on emploie ordinairement, parce que les modifications auxquelles elle s'applique s'étendent quelquefois beaucoup au delà du contact des roches. Le mot de *local* ne paraît d'ailleurs pas assez caractéristique.

(2) Comme exemple, je me bornerai à citer beaucoup de filons de basalte qui coupent le terrain jurassique de l'Alpe du Wurtemberg. Le granite lui-même n'a pas toujours modifié le schiste, lors même qu'il a été assez fluide pour y être injecté en filons, comme dans les Vosges, près de Wesserling. (Ed. Collomb. *Bulletin de la société géologique*, t. IV, p. 1446.)

(3) La craie du nord-est de l'Irlande n'est aucunement modifiée auprès de certains filons de trapp ; elle est au contraire

est souvent de quelques centaines de mètres et va exceptionnellement à 3,000 mètres : par exemple, aux environs de Christiania cette bordure est moyennement de 360 mètres; dans les Pyrénées, elle atteint jusqu'à 1500 mètres avec des effets parfaitement caractérisés (1). On remarque que la transformation s'est en général propagée plus loin, entre les angles rentrants formés par la roche éruptive que vis-à-vis des parties saillantes (Champ-du-Feu dans les Vosges (2), environs de Christiania).

Quant à la nature des modifications subies par les roches encaissantes, elles sont tellement variées qu'il est difficile de les résumer (3). Nature très-variée des modifications subies par les roches encaissantes.

Quelquefois il ne s'est fait qu'un nouvel arrangement moléculaire : ainsi le calcaire est devenu saccharoïde

---

devenue cristalline près de ceux qui sont plus puissants; dans ce dernier cas, la modification s'étend rarement au delà de 3 mètres. La même roche forme des filons dans l'île de Sky, en Écosse; le lias est modifié près de quelques-uns d'entre eux, tandis qu'il ne l'est nullement près d'autres, sans qu'on puisse se rendre compte de la cause de cette différence. (Oenhausen et Von Dechen. *Karstens Archiv.*, t. I, 2ᵉ série, p. 99). Les roches du terrain de transition des Vosges, dans lesquelles le granite a pénétré en filons, présentent des différences bien plus grandes encore : tantôt la modification est insensible, comme dans la vallée de Wesserling; tantôt elle est fortement prononcée, comme à Andlau et à Barr.

(1) Durocher. Mémoire déjà cité.

(2) Le terrain de transition est modifié d'une manière beaucoup plus complète et sur plus d'étendue, dans le haut de la vallée de Barr que dans les vallées de Villé et d'Andlau; cela paraît résulter de ce qu'au lieu de border simplement le granite, il forme dans la première localité une longue bande qui est comme encastrée au milieu du granite et de la syénite. (*Description géologique du Bas-Rhin*, p. 54.)

(3) Dans son travail sur le métamorphisme de contact, M. Delesse en a rapproché et examiné de nombreux exemples. (*Annales des mines*, 5ᵉ série, t. XII, p. 89.)

comme le marbre statuaire; ailleurs ce sont des grès qui sont changés en quartzite (île de Sky).

Les combustibles minéraux se sont généralement modifiés en perdant une partie de leurs éléments constitutifs (1). C'est ainsi que le lignite a été changé en houille, en anthracite et parfois même en graphite; (graphite exploité à Omenak au Groënland, dans le terrain tertiaire, terrain où il est également connu à Java). La houille est quelquefois passée également à l'un de ces deux derniers états (graphite d'Écosse, graphite et anthracite de Worcester près Boston, États-Unis). Plus rarement la houille et le lignite se sont transformés en une sorte de coke (2). Du bitume accidentellement isolé de ces combustibles s'est fixé dans des roches plus ou moins voisines (Lobsann dans le Bas-Rhin, Hering en Tyrol).

Le plus souvent il s'est développé de nouvelles combinaisons cristallines, soit avec les éléments qui préexistaient dans la roche, soit avec le concours d'éléments nouveaux qui y ont été introduits, soit enfin par l'élimination de quelques-uns de ceux qui s'y trouvaient (3).

Principaux minéraux développés.

Parmi les minéraux qui se sont le plus fréquemment formés dans les schistes argileux, on peut citer : la mâcle ou chiastolithe, la staurotide, le disthène, le mica qui est souvent en paillettes très-petites et appartient à deux

(1) Ce qui n'a pas empêché qu'ils ont souvent acquis aussi de nouveaux minéraux comme les autres roches, par exemple des zéolithes.

(2) Cette dernière transformation signalée près de roches trappéennes, par exemple dans le pays de Newcastle, n'a pas été observée jusqu'à présent à proximité de roches granitiques.

(3) C'est ce dernier cas qui paraît être arrivé pour les quartz grenus du Brésil.

espèces, les feldspaths orthose et anorthose, l'amphibole qui est quelquefois assez abondant pour constituer un schiste amphibolique (1), la tourmaline (2), etc. Ces minéraux se rencontrent en général dans le voisinage du granite.

C'est principalement dans les calcaires qu'il s'est développé une grande variété de minéraux, parmi lesquels je mentionnerai le grenat, l'idocrase, l'amphibole, la wollastonite, l'épidote, la paranthine, le dipyre, la couzeranite, le mica magnésien, la gehlénite, le chondrodite, le spinelle (3), la serpentine, le talc, la chlorite, la terre verte, les zéolithes, certaines argiles, etc. Ces divers minéraux n'appartiennent d'ailleurs pas exclusivement aux seules roches calcaires (4). Ainsi les zéolithes se rencontrent non-seulement dans des calcaires, mais aussi dans les roches argileuses, les grès, quelquefois même les combustibles minéraux, lorsque ces roches ont été traversées par des éruptions trappéennes (5).

Dans le voisinage de roches éruptives de toute espèce, granite et autres, le quartz s'est souvent accumulé, soit en masses cristallines ou compactes, soit à

(1) Environs de Christiania.

(2) Hornfels du Hartz.

(3) Monzoni, Somma; calcaire silurien de Sparta aux États-Unis.

(4) Cependant quelques-uns, comme la wollastonite et la gehlènite, n'ont jusqu'à présent été trouvés que dans le calcaire.

(5) Calcaire tertiaire du conglomérat du Puy de la Piquette, marnes des îles Cyclopes, avec beaux cristaux d'analcime, schistes argileux d'Andreasberg, au Hartz, et de l'île d'Anglesey, grès tertiaire de Wildenstein en Véteravie, d'apparence vitrifiée. Des zéolithes se sont même développées aussi dans le granite, près des filons de basalte qui le traversent, par exemple dans l'île d'Arran (Boué. *Essai géologique sur l'Écosse*, p. 499), et à Haustein dans la Forêt-Noire (Schill. *Neues Jahrbuch*, 1857, p. 36).

l'état de jaspe (1). Cette sorte d'ubiquité appartient encore aux autres minéraux des filons métallifères, tels que les carbonates à base de chaux, de magnésie et de fer, la baryte sulfatée, le spath fluor, le fer oligiste (2).

Comme exemples de ces actions, dont les variétés sont sans nombre, je rappellerai la localité classique du Hartz, où le schiste avoisinant le granite (hornfels) prend du mica, du feldspath, de la tourmaline, de la chlorite, du grenat (3); le Cornouailles où l'on rencontre les effets du même genre (4), les Vosges (5), les Pyrénées, la Bretagne (6), la Norwége, etc.

La roche transformée devient même parfois tout à fait semblable à une roche éruptive.

Quelquefois les roches qui avoisinent le granite ou la syénite sont tellement modifiées qu'elles prennent elles-mêmes tout à fait les caractères d'une roche éruptive. Ainsi, dans les Vosges, le schiste argileux passe par degrés à des pâtes de nature feldspathique, quelquefois porphyroïdes, et à des porphyres verts parsemés d'anorthose et d'amphibole. Des faits semblables ont été observés dans beaucoup d'autres contrées (7).

La roche transformée est souvent devenue amygda-

(1) Toscane, Grèce, Oural, etc.

(2) Tantôt le quartz a été simplement isolé par la décomposition de silicates préexistants, comme on le verra dans la 3e partie; tantôt il résulte, comme les autres gangues des filons métallifères, d'un *apport* bien manifeste.

(3) D'après Hoffmann et Zincken.

(4) De la Bèche. *Geological report on Cornwall*, p. 267.

(5) Daubrée. *Description géologique du Bas-Rhin*, p. 32 et 53.

(6) D'après les mémoires précités de Palassou, Dufrénoy et de M. Durocher.

(7) Aux environs de Dublin, d'après la description de M. Scouler, les modifications seraient identiques à ce que l'on a observé dans les Vosges (*Bull. de la soc. géologique de France*, 1re série, t. VII). Beaucoup de porphyres verts pyroxéniques et de jaspes de l'Oural ont été attribués par M. G. Rose, sir Roderick Murchison et M. Le Play à un métamorphisme (*Comptes rendus*, t. XIX, p. 853; *Reise nach Oural*, t. II, p. 185).

loïde ; dans certaines régions de l'Allemagne, elle porte alors le nom de schaalstein (1).

On sait en outre que la roche éruptive a souvent subi elle-même des modifications dans le voisinage des roches encaissantes (2). Modification de la roche éruptive elle-même

Les diverses transformations que je viens de signaler forment donc, autour des granites et des autres roches éruptives, comme des auréoles irrégulières. M. Élie de Beaumont a montré que suivant que la roche est acide, c'est-à-dire avec excès d'acide silicique, ou qu'elle est basique, les gîtes métallifères en relation avec elle présentent deux types distincts. Il en est de même des auréoles métamorphiques dont il est question, et les observations de M. Delesse ont contribué à le faire reconnaître. Ainsi, d'une part, les zéolithes qui ont si souvent pris naissance près des roches trappéennes n'ont pas été signalées près d'épanchements de granite (3). D'autre part, cette dernière roche, à l'exclusion de toute autre, a produit certains minéraux, tels, par exemple, que les silicates alumineux connus sous les noms de mâcle et de staurotide, si communs dans les schistes argileux de la Bretagne. Des schistes micacés et feldspathiques enveloppent très-fréquemment les massifs de granite sur de grandes épaisseurs dans les Pyrénées et ailleurs ; on ne connaît rien d'analogue auprès des trapps. Action différente des roches selon qu'elles sont acides ou basiques

(1) Ces roches amygdaloïdes passent fréquemment à des calcaires fossilifères, et prennent souvent elles-mêmes l'état de conglomérat (Steingraben dans les Vosges, Nassau, contrée de Brilon en Westphalie, où elles sont associées au porphyre labradorique, Paimpol en Bretagne, Lac supérieur et Nouvelle-Écosse). Certains spilites des Alpes et de l'Esterel sont considérés par M. Gras comme métamorphiques.

(2) D'où le nom d'endomorphisme proposé par M. Fournet ; souvent elle s'est imprégnée d'hydrosilicate magnésien, d'après M. Delesse.

(3) Durocher. Mémoire précité, p. 607 et 614.

CHAPITRE II.

MÉTAMORPHISME RÉGIONAL (1).

Métamorphisme régional.

Je n'entends parler ici, je le répète, que des massifs schisteux dont l'origine métamorphique est clairement démontrée; je remets par conséquent à la troisième partie de cette étude les gneiss anciens, les micaschistes et autres roches subordonnées, qui sont inférieures aux terrains stratifiés fossilifères.

Des massifs considérables de roches sédimentaires, occupant des pays entiers, montrent souvent un métamorphisme prononcé, lors même qu'il est impossible de découvrir au milieu de ces terrains le moindre affleurement de roches éruptives (2).

La première phase est facile à reconnaître, dans les Ardennes, par exemple.

Cette modification est facile à constater dans les contrées où elle est assez peu intense pour n'avoir pas fait disparaître en entier le caractère sédimentaire de la roche; tels sont le pays de Galles, le Taunus et les Ardennes. Dans les terrains silurien et dévonien de ce dernier pays, par exemple, les roches sont en partie devenues schisteuses, et sur de grandes étendues, la chlorite s'est développée entre leurs feuillets, en innombrables cristaux microscopiques (3); le feldspath s'y est

---

(1) Le nom de métamorphisme régional que je propose ici me paraît plus juste que celui de métamorphisme *normal*, et moins vague que la dénomination de métamorphisme *général*.

(2) La différence dans la nature des combustibles minéraux, lignite, houille, anthracite, qui varient suivant les terrains, peut être considérée comme un premier exemple de métamorphisme opéré loin des roches éruptives, et sur des substances peut-être plus *impressionnables* que les roches pierreuses. C'est ainsi qu'il n'y a que de l'anthracite dans les Alpes, et dans les schistes talqueux de la Basse-Loire, et que le terrain éocène de la Toscane renferme une houille véritable (Monte-Bamboli).

(3) L'analyse a fait reconnaître à M. Sauvage l'existence de

glissé aussi quelquefois; de plus, une multitude de veines de quartz, les unes parallèles, les autres obliques aux feuillets, se sont isolées dans leur intérieur, et ces veines renferment souvent elles-mêmes les minéraux qui viennent d'être cités; enfin les grès se sont changés en quartzite (1). Or il n'est guère permis d'admettre que des terrains stratifiés et fossilifères aient pu posséder originellement ces caractères minéralogiques; aussi chacun admet-il qu'ils doivent leur nature actuelle à une transformation subie depuis leur dépôt.

Elle sert de transiti à une ph plus avanc telle que la prése les roche des Alpes centr

Mais, quand le même phénomène se présente dans une phase plus avancée, il faut un examen plus attentif pour le constater, et même on n'arrive pas toujours à en acquérir la certitude, parce que le type primitif a été plus ou moins complétement effacé par les actions chimiques postérieures à la formation de la roche sédimentaire. Ainsi, dans les puissants massifs de roches cristallines des Alpes, on trouve, de même que dans les Ardennes, le schiste chloritique avec veines de quartz et souvent de chlorite, mais il y est en général mieux cristallisé (Zillerthal en Tyrol, Salzbourg). Il est associé à une série d'autres roches schisteuses cristallines, de nature variée, qui alternent entre elles d'une manière irrégulière, notamment le schiste talqueux, les schistes verts (2), le schiste amphibolique et même certaines

---

la chlorite, même dans les variétés de phyllade où l'œil ne la distingue pas. C'est dans les mêmes conditions que se trouve la séricite dans les schistes du Taunus.

(1) *Explication de la carte géologique de France*, t. I, p. 77. Durocher, Mémoire précité, p. 603.

(2) Les roches nommées *schistes verts* par M. Studer, et qui sont certainement métamorphiques, ont été récemment très-bien étudiées par M. de Rath; elle sont de composition très-variable; elles renferment souvent de l'oligoclase et de l'albite (*Zeitschrift der deutsch. geol. Gesellschaft*, t. IX, p. 211).

diorites schisteuses (1), le gneiss talqueux (décrit par Saussure sous le nom de granite veiné), le quartzite (2), des calcaires schisteux et souvent micacés, plus rarement des dolomies et des gypses parsemés également de minéraux variés (environs d'Airolo) (3). Cependant, malgré l'état éminemment cristallin de ces roches, la plupart des géologues qui ont décrit les Alpes les ont considérées comme d'origine sédimentaire.

euves du orphisme ertains s massifs stallins.

La conclusion que certains terrains cristallins et fort développés, tels que ceux des Alpes, sont métamorphiques, s'appuie sur plusieurs preuves, qui sont, du reste, à peu près du même ordre que celles qui démontrent le métamorphisme opéré dans le voisinage des roches éruptives. Je signalerai les suivantes :

nalogie mposition les roches taires.

1° L'analogie de composition qui unit certains groupes de roches cristallines aux roches sédimentaires, est frappante encore aujourd'hui, malgré les modifications que les premières paraissent avoir subies. On y trouve, en effet, comme dans les roches sédimentaires, des bancs de calcaire, de dolomie, de gypse, de roche quartzeuse ou quartzite, enfin des schistes chloritiques et talqueux, qu'il serait souvent impossible de distinguer des roches de même nature, qui sont subordonnées à des terrains siluriens bien caractérisés.

---

(1) Nous avons déjà dit plus haut (page 71) que les diorites schisteuses de l'Oural sont généralement considérées comme métamorphiques.

(2) Les quartzites ont donné lieu à de très-nombreuses observations, parmi lesquelles je rappellerai celles de Macculoch pour l'Ecosse (*Transactions of the geological society of London*, 1[re] série, t. IV, p. 264; 2[e] série, t. I, p. 53); celles de M. de Humboldt pour les Andes (*Cosmos*, t. I, p. 305); celles de M. Élie de Beaumont pour les Alpes.

(3) La serpentine elle-même, dans certains de ses gisements, dans les Alpes, l'Oural, les Alleghanis et ailleurs, paraît résulter du métamorphisme de différentes roches, amphiboli-

Je rappellerai aussi que la composition élémentaire de certains schistes argileux des terrains de transition est souvent très-sensiblement la même que celle du granite et du gneiss, ainsi que l'a remarqué M. Bischof.

2° Passage tout à fait insensible des roches cristallines aux roches fossilifères.

2° Une même contrée présente des passages, incontestablement graduels, des roches cristallines aux roches stratifiées fossilifères. Ces transitions insensibles, qui empêchent d'établir une ligne de démarcation entre les roches des deux catégories, et sur lesquelles Werner s'était fondé pour donner le nom de *terrain de transition* (Uebergangsgebirge) au groupe où elles sont le plus fréquentes, ont été trop souvent décrites pour qu'il soit nécessaire de s'étendre sur ce sujet (1).

Il est toutefois des localités, surtout dans les Alpes, où des roches cristallines sont enchâssées au milieu de roches sédimentaires peu modifiées.

3° Fossiles animaux conservés au milieu de roches cristallines.

3° On sait que la cristallisation qui s'est opérée à proximité des roches éruptives, n'a pas toujours effacé la trace des fossiles. Il en subsiste encore des vestiges bien distincts au milieu de roches parsemées de silicates cristallins. Il suffit de rappeler le calcaire silurien de la Norwége avec fossiles, qui renferme, à Brevig, de la pa-

---

ques et autres, ainsi que le montrent de très nombreuses observations.

(1) Parmi les exemples sans nombre que l'on pourrait citer, il suffira de rappeler la Bretagne (*Explication de la carte géologique de France*, t. I, p. 234); la Saxe, où les transitions ont été si bien décrites par Naumann; les Alpes du Dauphiné, de la Tarentaise, de la Suisse, du Tyrol, de Saltzbourg, de la Carinthie, d'après MM. Brochant, Élie de Beaumont, Sismonda, Gras, Lory, Studer, Escher, Lardy, Favre, Murchison, Credner et beaucoup d'autres; l'Oural d'après Murchison et G. Rose, les Etats-Unis d'après Lyell.

Les schistes verts forment, dans diverses régions des Alpes (Grisons, Piémont, etc.), le passage entre les roches évidemment sédimentaires et les roches cristallines (Studer. *Physikalische Geographie*, t. 1, p. 148).

ranthine et du grenat, et, à Gjellebeck, de l'amphibole avec de l'épidote; le calcaire jurassique à dipyre, d'Angoumert dans l'Ariége; les schistes de la Bretagne, si bien décrits par M. Boblaye, où les mêmes échantillons renferment à la fois des mâcles de plusieurs centimètres de longueur avec des orthis, des spirifères et des calymènes; le calcaire blanc subcristallin avec encrines, découvert par MM. Murchison et de Verneuil dans l'Oural, sur les bords de la rivière Miask, au milieu d'une région de granite, de serpentine et de roches métamorphiques (1); enfin, dans les Vosges, la roche amphibolique de Rothau, où les polypiers ont été remplacés, sans être déformés, par des cristaux d'amphibole, de grenat et d'axinite (2).

Or il en est de même pour les massifs de terrains cristallins qui nous occupent; depuis l'exemple cité par Brochant, MM. de Charpentier, Lardy et Studer ont découvert dans le voisinage du Saint-Gotthard des bélemnites au milieu de schistes micacés avec grenat (3).

La possibilité d'une transformation paraît d'ailleurs démontrée, par les blocs provenant de la Somma, où il y a toutes sortes de passages depuis le calcaire compacte de l'Apennin, avec pétoncles, jusqu'aux calcaires amellaires et aux dolomies chargés de silicates cristallisés.

ıantes les rées nêmes s.

4° Dans les roches où l'état cristallin est encore plus prononcé, alors qu'on n'y aperçoit plus de formes animales, des débris de plantes se sont quelquefois conservés. On rencontre, par exemple, des empreintes végé-

(1) *Russia in Europa and the Oural mountains*, t. I, p. 420.

(2) *Annales des mines*, 5e série, t. XII, p. 318.

(3) Particulièrement au col de la Nufenen près Airolo. M. de Charpentier avait déjà trouvé en 1822 des bélemnites dans le calcaire prétendu primitif du Col de Seigne (*Cosmos*, t. I, p. 541).

tales dans des roches feldspathiques et micacées, si cristallines qu'on pourrait les prendre pour des roches éruptives, surtout si on les jugeait sur des échantillons isolés. Tels sont la grauwacke feldspathisée de Thann, les schistes de Bussang dans les Vosges, la *pierre carrée* des bords de la Loire, fréquemment associée à l'anthracite, roches que l'on rapporte au terrain carbonifère inférieur ou au terrain anthraxifère.

5° Vestige charbonneu vraisemblab ment d'orig organique

5° Quand les formes végétales elles-mêmes ne s'y rencontrent plus, les roches schisteuses cristallines qui nous occupent renferment souvent encore des combinaisons charbonneuses qui, selon toute probabilité, sont d'origine organique. C'est ainsi que les schistes micacés d'Airolo, parsemés de grenats et de longs prismes d'amphibole, contiennent encore, d'après l'essai que j'en ai fait, jusqu'à 5 pour 100 de carbone (1) : il en est de même de beaucoup de schistes ardoisiers (2).

Le métamorphi de juxtaposi et le métamorphi régional se distingu surtout par leur éten

Il résulte de tout ce qui précède, qu'il serait difficile d'établir une distinction nette entre le métamorphisme de juxtaposition et le métamorphisme régional, en se fondant seulement sur les caractères minéralogiques : les deux phénomènes diffèrent surtout par leur étendue.

Les roche schisteuse cristalline se rencontr principalem dans les terr les plus anci

C'est principalement dans les étages inférieurs de la série des terrains stratifiés que les effets du métamorphisme régional sont remarquables.

Terrains paléozoïqu modifiés sur toute la longuet de l'Oural

Un magnifique exemple de la transformation des terrains paléozoïques se rencontre dans la chaîne de l'Oural ; l'origine sédimentaire et l'âge des schistes cristallins qui la composent, ont été, en effet, mis hors de doute dans le beau travail de MM. Murchison, de

(1) Après avoir enlevé par un acide le carbonate de chaux, on a dosé le carbone par l'oxyde de cuivre, comme dans les analyses organiques.

(2) On peut même croire que la matière bitumineuse, con-

Verneuil et Keyserling (1). Les terrains siluriens très-faiblement consolidés sur une partie de la Russie, se transforment dans la chaîne en schistes cristallins qui ont conservé çà et là, comme pour attester leur origine, des lambeaux de roches fossilifères. Il en est de même des roches du terrain carbonifère : les calcaires blancs et tendres de Moscou se retrouvent dans l'Oural avec les mêmes fossiles (*productus gigas et spirifer mosquensis*), mais sous la forme de calcaires durs, foncés et cristallins.

Le métamorphisme n'est pas en relation constante avec l'ancienneté des terrains.

Cependant, le métamorphisme régional n'est pas exclusivement restreint aux étages les plus anciens, et, d'un autre côté, il ne leur appartient pas nécessairement. Ainsi, d'une part, on trouve des schistes, devenus cristallins, jusque dans les couches à bélemnites, et même jusque dans le terrain nummulitique (comme dans les Grisons) (2). D'un autre côté, certains dépôts siluriens sont à peine modifiés, même dans leurs couches inférieures, ainsi qu'on le voit en Russie, en Suède, aux États-Unis (3).

L'état si remarquablement cristallin de beaucoup de terrains paléozoïques ne doit donc pas être attribué exclusivement, ainsi qu'on l'a prétendu, à une certaine condition générale qu'aurait présentée le globe à l'époque de leur dépôt, mais bien à des actions particulières qui ont affecté certaines régions préférablement à d'autres.

---

statée par M. Delesse dans la protogyne du Mont-Blanc, est d'origine organique.

(1) *Russia*, t. I, p. 402, 438 et 465.

(2) D'après sir R. Murchison, ces roches se rapprochent même du gneiss, *Geol. quart. journ.*, t. V, 211. 1848.

(3) D'après les observations toutes récentes de Sir Roderick Murchison, le métamorphisme a joué, dans la constitution du

CHAPITRE III.

MÉTAMORPHISME DE STRUCTURE.

Caractères des feuillets; leur relation avec la stratification.

Beaucoup de massifs de roche se laissent diviser plus ou moins nettement en feuillets parallèles (1). Ces feuillets ne sont pas un clivage de cristallisation ; ils ne sont pas dus non plus à la stratification.

Le plan des feuillets est fréquemment oblique à celui des couches. Cependant il y a des contrées où la disposition transversale est exceptionnelle et où les feuillets sont en général parallèles à la stratification (2).

La structure feuilletée n'est pas exclusivement développée dans les roches argileuses.

Cette structure feuilletée est surtout développée dans les schistes argileux ou phyllades; mais elle n'en est pas l'apanage exclusif et se poursuit dans des roches de nature différente, tels que les quartzites, les grès, les calcaires, surtout lorsque ceux-ci sont impurs.

Effets de déformation et d'étirement observés dans les roches schisteuses.

Diverses circonstances montrent que les roches feuilletées ont été soumises à des actions mécaniques, principalement à des pressions énergiques qui y ont produit des effets indélébiles. La plupart des fossiles que renfermaient ces roches ont été refoulés et étirés d'une manière très-caractéristique.

Elles ont probablement acquis leur structure feuilletée sous l'influence de pressions et de glissements.

C'est aux glissements qui sont résultés de ces pressions que la structure feuilletée paraît devoir son ori-

---

terrain silurien de l'Écosse, un rôle d'une importance qu'on ne soupçonnait pas.

(1) Souvent le joint ne se montre pas plus dans la roche que le clivage ne s'aperçoit dans les cristaux, avant qu'on l'ait fait naître par le choc; il est en quelque sorte latent, ainsi qu'on le reconnaît dans les carrières d'ardoises.

(2) Ce parallélisme habituel a été remarqué au Hartz, en Saxe, en Bretagne, en Ecosse, en Devonshire et dans le système du Rhin, par MM. Hausmann, Naumann, Durocher, Macculoch, de la Bèche, Baur et de Dechen.

gine, comme d'ailleurs le confirmera l'expérience que nous signalerons bientôt.

ivisions ... ches ... nissent ... lter ... ;les ... ens.

Certaines particularités de structure moins prononcées que la schistosité ou le clivage proviennent sans doute aussi d'actions mécaniques. Tels sont les *joints secondaires* connus de ceux qui travaillent les ardoises (1); la structure fibreuse, qui résulte comme d'un plissement des feuillets (2); la structure dite pseudo-régulière, fréquente dans les quartzites et dans la houille. Ces divers modes de division seraient donc à signaler aussi comme le résultat d'un métamorphisme de l'espèce qui nous occupe.

... ctare ... ptée ... ave que ... régions ... sées.

La structure schisteuse anormale, ou, en d'autres termes, la structure feuilletée, qui ne provient pas de la stratification par dépôt, quoique très-fréquente dans les terrains anciens, ne s'y trouve pas toujours et ne leur est pas exclusivement propre. D'une part, on ne rencontre pas de véritables phyllades dans les couches siluriennes de la Suède, de la Russie ou des États-Unis, qui ont conservé leur horizontalité première, et qui ont été mentionnées plus haut comme n'étant pas généralement métamorphisées; d'autre part, des schistes propres à être exploités comme ardoises sont connus dans des terrains plus récents qui ont été disloqués, comme dans le terrain crétacé des Pyrénées et de la Terre de Feu (3), et dans le terrain nummulitique de la Suisse,

---

(1) Le principal de ces joints secondaires est nommé *longrain* par les ardoisiers des Ardennes.

(2) La structure bacillaire de certains calcaires des Alpes, tels que celui de Klam en Tyrol, en est un exemple. Favre. *Géologie du Tyrol allemand*, Bibliothèque de Genève, 1849. M. de la Bèche a donné des exemples de ces divisions dans son *Geological report on Cornwall*, p. 271.

(3) D'après M. Darwin.

aux environs de Glarus. Ainsi, l'origine de la structure feuilletée, de même que l'état métamorphique, paraît se lier essentiellement à l'existence de dislocations.

CHAPITRE IV.

DOLOMIE, GYPSE, SEL GEMME, SOUFRE ET DÉPÔTS BITUMINEUX DANS LEURS RAPPORTS AVEC LE MÉTAMORPHISME.

On sait que certaines dolomies résultent d'une transformation du calcaire (1). Cette épigénie peut s'expliquer, ainsi que l'ont confirmé les expériences synthétiques qui ont été faites sur ce sujet, par la réaction de combinaisons magnésiennes sur le carbonate de chaux. Rien ne prouve d'ailleurs que la transformation en dolomie se soit toujours produite sous l'influence des mêmes agents, et que la dolomie du Campo-Longo, par exemple, avec ses tourmalines, ses corindons et ses minéraux variés, soit à assimiler à la dolomie d'autres régions des Alpes (2) et de Nice, ou à celle qui avoisine les gîtes de calamine de la Belgique. Dolomies d'origine épig

Mais il existe des dolomies, et c'est le cas du plus grand nombre, qui sont disposées par couches régulières, souvent horizontales, constituant des étages géognostiques très-étendus. Quand elles renferment des vestiges de coquilles, le têt en a disparu ; elles sont souvent cristallines et criblées de cavités de manière à rappeler une substitution. Il est possible que la masse principale de ces dernières dolomies ait été précipitée Dolomies en couches régulières subordonn aux terrai stratifiées

(1) Au simple exposé des faits, j'ajouterai dans ces trois derniers chapitres quelques considérations théoriques; cela me dispensera de revenir sur ces phénomènes dans la troisième partie.

(2) Voir notamment les mémoires de M. Studer et la *Physikalische Geographie* du même auteur, t. I, p. 146.

directement (1). Mais à raison de la disparition des coquilles, il est difficile de ne pas admettre, avec M. Élie de Beaumont, que ce second cas se rapproche du premier, par la réaction qu'aurait exercée sur la matière précipitée le milieu où s'est opérée la précipitation, réaction telle que le carbonate de chaux aurait disparu. On remarque, en effet, que le calcaire pur n'alterne jamais avec elles.

[...]sociation [...]nhydrite, [...]gypse [...]el gemme.

Les dolomies stratifiées sont, en général, associées à des dépôts d'anhydrite et de gypse, roches qu'on a considérées également comme dues à une épigénie (2); elles accompagnent fréquemment aussi des dépôts de sel gemme. Ces trois dernières roches, qui offrent dans leurs allures des analogies frappantes, ont été, de même que la dolomie, rapportées à deux types de gisement. Le plus souvent, elles sont subordonnées régulièrement à des terrains stratifiés, dont elles constituent un élément caractéristique, ainsi qu'on le voit dans le trias de l'Europe occidentale, dans celui de l'Espagne, ou dans le terrain tertiaire des Carpathes. Ailleurs, ce sont des dépôts adventifs qui paraissent se lier à des dislocations, comme on l'admet pour les gîtes des Alpes du Salzbourg et de la Bavière, ceux des Pyrénées et de l'Algérie. Ainsi le caractère de double origine attribué aux dolomies se retrouve dans les gypses, anhydrites et sel gemme qui les accompagnent.

[...] rouge [...]riolures [...]actérisent [...]terrains [...]ifères.

Un caractère très-remarquable de tous les terrains salifères, et qui dénote aussi les analogies et la singula-

(1) Par des réactions sur lesquelles M. de Sénarmont et M. Forchhammer ont fixé l'attention (*Annales de chimie et de physique*, t. XXVIII, p. 710; et *Erdmann Jarhb. fur pract. Chem.*, t. XLIX, p. 52, 1850).

(2) Voir les observations de M. Élie de Beaumont sur ce sujet. *Explication de la carte géologique de France*, t. II, p. 90.

rité de leur formation, ce sont les teintes rouges, unies ou bariolées, que présentent les argiles, les grès et même certains amas de sel qui les composent. Je ne pourrais que reproduire ici les considérations par lesquelles M. Élie de Beaumont a rapproché ces divers faits connexes, et montré que dans la masse d'eau qui a déposé les marnes irisées, il s'est passé des phénomènes analogues, par quelques-uns de leurs résultats, à ceux qui accompagnent les phénomènes volcaniques (1).

Ces terrains à teinte rouge sont souvent superposés à des couches parfaitement régulières dont la coloration ne présente rien d'anormal; telles sont les marnes irisées qui reposent sur le muschelkalk. Cette circonstance, jointe à la considération des vastes superficies qu'ils occupent souvent, ferait croire que la chaleur du globe n'aurait exercé son action sur eux que d'une manière indirecte, et en quelque sorte détournée, en échauffant l'eau de la mer. Ce serait donc peut-être à la faveur d'une chaleur élevée, et d'actions chimiques aux-

(1) Élie de Beaumont. *Explication de la carte géologique de France*, t. II, p. 94.

M. de Sénarmont a reconnu que le peroxyde de fer peut se déshydrater dans le sein même de l'eau, à des températures comprises entre 160 et 180 degrés. Cette réduction a même déjà lieu, d'après une expérience que j'ai faite, à 150 degrés seulement, dans une dissolution saturée de chlorure de sodium.

J'ai aussi vérifié par l'analyse que les parties rouges des argiles bariolées ne diffèrent pas seulement des parties vertes ou grises par l'état de combinaison du fer, mais aussi par une proportion notablement plus forte de ce métal. Cette observation m'a conduit à imiter tout à fait les bariolures ordinaires des argiles, en faisant passer à chaud sur de l'argile ferrugineuse et successivement, des vapeurs d'acide chlorhydrique et d'eau. Certaines parties de l'argile se décolorent, tandis que les parties voisines se teignent en rouge aux dépens des premières.

quelles la concentration du chlorure de sodium n'était pas étrangère, que la mer aurait teint elle-même les terrains salifères, laissant ainsi une sorte de témoignage d'une température qu'elle aurait exceptionnellement éprouvée à certaines époques et dans des portions étendues de son bassin.

[Épigénie immédiate dans les couches métallifères, inséparable de la formation des dolomies.] On vient de dire que les dolomies régulièrement stratifiées sont attribuées à une épigénie du calcaire et que c'est au moment du dépôt de ce dernier, et avant qu'il fût protégé par d'autres sédiments, que la transformation aurait eu lieu ; or il en est précisément de même pour certaines couches métallifères. Le schiste cuivreux du Mansfeld, les gîtes de fer lenticulaires de la Voulte et de Privas, les couches avec jaspe et minéraux métalliques des environs de Nontron ont été, ainsi que l'a fait remarquer M. Gruner, formés antérieurement à toutes les assises qui les recouvrent aujourd'hui (1). Cette sorte d'*épigénie immédiate*, dans l'eau même où ces divers dépôts se sont formés, paraît donc constituer un caractère commun aux dolomies, aux roches rubéfiées et bariolées, ainsi qu'à beaucoup de couches métallifères.

[Association intime de la dolomie à certains gîtes métallifères.] Comme autre rapprochement avec les mêmes formations, je remarquerai encore que, dans des terrains d'âge varié, les gîtes métallifères sont souvent associés à la dolomie d'une manière si intime qu'on ne saurait méconnaître qu'il y a un lien d'origine entre ces deux sortes de dépôts. On peut citer comme exemple de ce fait, les amas de calamine superposés au calcaire carbonifère de la Vieille-Montagne et de l'Eifel (2) ; ceux

(1) *Annales des mines*, 4e série, t. XVIII, p. 91.
(2) Max Braun. *Zeitschr. d. deutschen geologischen Gesellschaft.* Jarhrg 1857. Notamment à Stolberg, Gaudry. *Bulletin de la société géologique*, 2e série, t. VIII, p. 105.

de San-Juan de Alcarras et de la province de Santander en Espagne; les gîtes de même métal, du muschelkalk de la Silésie et de la Pologne (1); la dolomie zincifère d'Angleterre; les petits dépôts calaminaires de la France centrale, tels que Durfort (Lozère), Combecave (Lot), Alloue (Charente); les gîtes de galène des Alpujarras; les amas de fer de Vicdessos et du Canigou dans les Pyrénées; les gîtes de manganèse du Nassau et ceux de Nontron (Dordogne), etc. (2).

Gisement du soufre relation de son origine avec celle du gypse

Le soufre natif dans ses principaux gisements est en général associé à des dépôts de gypse (3), soit par la relation de cause à effet, soit par la relation d'effet à cause. C'est ce qui se voit en Sicile, dans plusieurs régions de l'Italie, aux environs de Wieliczka en Pologne (4), de Teruel en Espagne (5) et sur les bords du Volga (6). Que le soufre soit arrivé de la profondeur à l'état d'hydrogène sulfuré, de même que dans les solfatares et certains gîtes métallifères de la Toscane où il se dépose journellement encore sur les boisages des

(1) Mémoires de MM. Karsten, de Carnall et autres sur cette contrée intéressante.

(2) On pourrait comprendre aussi dans cette énumération la couche des schistes cuivreux du Mansfeld, les couches de grès plombifère et cuprifère de la Moselle, qui paraissent avoir été formés, de même que les couches citées plus haut par M. Gruner, antérieurement à toutes les couches qui les recouvrent aujourd'hui.

(3) Quelquefois aussi à l'alunite, et plus rarement au sulfate de strontiane, comme en Sicile.

(4) Zeuschner. Dépôt de soufre de Zwoszowice. *Annales des mines*, 4e série, t. XVIII, 1850.

(5) Les couches tertiaires de Teruel, où les lymnées sont remplies de soufre sans que le têt de ces coquilles ait disparu, et où la même substance s'est substituée aux tiges de chara, sont bien connues par les descriptions de MM. Esquerra del Bayo, Max Braun, de Verneuil et Collomb.

(6) Pallas, t. I, p. 197 et 202; Murchison. *Russia*.

galeries, et qu'il se soit ensuite partiellement transformé en sulfate de chaux par une combustion plus ou moins complète; ou bien, que des couches de sulfate de chaux aient éprouvé une réduction ultérieure et produit du soufre par une réaction bien connue, sous l'influence des matières organiques auxquelles il est souvent encore associé (1), il y a dans l'un et l'autre cas, entre le gypse et le soufre, des relations de métamorphisme ou d'épigénie.

On peut remarquer toutefois que le premier phénomène paraît à peu près constamment accompagné d'une température élevée, tandis que la réduction des sulfates, même à l'état de dissolution, semble paralysée par toute élévation de chaleur capable d'arrêter les fermentations ou décompositions putrides, qu'éprouvent spontanément les matières organiques (2).

de bitume d'autres rbures drogène; ales; s de boue.

Les bitumes et autres carbures d'hydrogène, selon leur état solide, liquide ou gazeux, tantôt imprègnent des bancs, tantôt en découlent (pétrole), tantôt s'échap-

---

(1) C'est sans doute à un phénomène de ce genre qu'est due l'attaque du doublage des navires dans certaines mers d'Afrique, ainsi que ce fait observé par le capitaine Wilmot sur les côtes du même continent, qu'il se dépose dans la mer du soufre, mélangé à peu près à poids égal à une matière organique (l'Institut, 13 mars 1844).

(2) La réduction du sulfate en sulfure n'a pas lieu à des températures très-élevées, d'après des expériences de M. de Sénarmont; ainsi les circonstances qui conviennent à la fermentation putride sont favorables à la réduction des sulfates en sulfures.

J'ajouterai toutefois que le cuivre sulfuré s'est formé et a cristallisé à une température d'environ 70 degrés dans l'eau thermale de Plombières, ainsi que je l'ai annoncé ailleurs, *Annales des mines*, 5e série, t. XII, p. 294. Ce phénomène de réduction explique peut-être l'origine de certaines couches de sulfures métalliques, telles que le schiste cuivreux du Mansfeld.

pent du sol, comme dans les salses, les volcans de boue, les sources inflammables qui d'ailleurs ne sont en général que des évents de dépôts bitumineux (1). Les divers gisements bitumineux présentent comme traits généraux ou au moins remarquablement fréquents :

1° D'être associés à des terrains salifères (Soultz-sous-Forêts dans le Bas-Rhin, Landes, saline de Teklenbourg dans le nord de l'Allemagne, sel décrépitant de Wieliczka et autres régions des Carpathes, Brazza près de Spalatro en Dalmatie, Albanie, Perse, Chine, États-Unis, etc.) ;

2° D'être situés dans le voisinage de dépôts de combustibles ou de couches chargées de débris végétaux (Lobsann, Basses-Alpes, Seefeld et Hering en Tyrol, Bovey en Devonshire, Derbyshire, environs de Newcastle et de Glasgow, etc.) ;

3° D'être, soit rapprochés d'accidents ignés, anciens ou modernes, c'est-à-dire de volcans ou de roches éruptives, (Val di Noto près de l'Etna, Auvergne, Gaujac dans les Landes, où le bitume sort d'un terrain salifère renfermant du lignite au pied d'un pointement d'ophite, Java, Cap-Vert), soit associés à des terrains disloqués (Hering en Tyrol, salses de la Crimée, de la presqu'île de Taman (2) et de la mer Caspienne qui sont dans le prolongement du Caucase) ;

4° D'être fréquemment accompagnés de sources thermales souvent sulfureuses, et de dépôts de soufre (terrain permien du Volga, presqu'île de Kertch et diverses localités voisines du Caucase, environ de Mossoul en Perse). Ces deux dernières circonstances

(1) Cette dernière relation est évidente dans les Apennins, en Albanie, dans la presqu'île de Taman, aux environs de Tiflis, etc.

(2) *Mémoires de la Société géologique de France*, t. III, 1838.

paraissent résulter des associations qui ont été signalées plus haut.

ience tive sujet. Plusieurs de mes expériences rendent compte de ces relations. En soumettant des fragments de bois à l'action de l'eau suréchauffée, je les ai transformés, au milieu même de l'eau, en lignite, en houille ou en anthracite selon la température, et j'ai obtenu en outre des produits liquides et volatils ressemblant aux bitumes naturels, et possédant jusqu'à l'odeur caractéristique du pétrole de Bechelbronn. C'est ainsi qu'on conçoit la présence du bitume dans certains filons métallifères concrétionnés (Derbyshire, Camsdorf, Raibl en Carinthie).

mé. En résumé les bitumes sont probablement des dérivés de substances végétales (1); ils paraissent ne pas être de simples produits de distillation sèche, mais avoir été formés avec le concours de l'eau, et peut-être sous pression; le graphite ne serait que le produit le plus épuisé de ces substances (2). Ces diverses combinaisons carburées se rattachent donc à des transformations qui se passent dans l'intérieur des roches, vraisemblablement sous l'influence d'une température élevée. L'activité et même la violence, parfois capable de produire de petits tremblements de terre, avec laquelle divers dégagements d'hydrogène carboné ont lieu dans la Tauride, aux bords de la mer Caspienne, aux environs de Carthagène dans l'Amérique du Sud, prouvent que les actions qui ont autrefois isolé le bitume continuent encore aujourd'hui.

---

(1) Quoique M. Berthelot et d'autres chimistes soient parvenus à l'aide de méthodes ingénieuses à obtenir, par voie synthétique, des combinaisons dites organiques, rien n'autorise jusqu'à présent à croire qu'il en puisse être ainsi pour les bitumes.

(2) Le graphite et le bitume sont associés à Java, à proximité des terrains volcaniques, et dans un terrain tertiaire à lignite, d'où il sort des jets d'hydrogène carboné.

CHAPITRE V.

GÎTES MÉTALLIFÈRES DANS LEUR RELATION AVEC LE MÉTAMORPHISME.

Des combinai[sons] métallique[s] ont souve[nt] accompag[né] les agent[s] qui ont pro[duit] le métamorphis[me].

Les combinaisons métalliques provenant des profondeurs, se sont très-fréquemment accumulées dans les fentes que présentaient les terrains, et ont formé les filons métallifères.

Quelquefois aussi ces combinaisons et les divers autres composés qui les accompagnaient se sont répandues dans les roches, et en pénétrant la substance, lui ont fait subir des transformations profondes. C'est ainsi que s'y sont introduits, à proximité de roches éruptives, les amas de fer oligiste de Framont, les dépôts du Banat, des environs de Christiania et de Turjinsk, où les minerais métalliques sont enchevêtrés au milieu de silicates, produits en même temps qu'eux dans la roche sédimentaire elle-même. De même, l'étain est arrivé dans beaucoup des amas qu'il constitue aujourd'hui, en réagissant profondément sur les roches encaissantes, comme je l'ai montré depuis longtemps, et en y engendrant des minéraux caractéristiques.

Quand des massifs entiers de terrains ont subi des transformations, il arrive parfois que, sur de vastes étendues, des substances métalliques se sont logées entre leurs feuillets, dans des conditions telles qu'il est impossible de résister à l'idée que leur arrivée est liée à la cause même qui a produit le métamorphisme. Comme exemple, je citerai l'or associé à la pyrite de fer ou au mispickel dans le Zillerthal en Tyrol, dans la Galice en Espagne où il est en outre accompagné d'étain ; mais c'est surtout dans l'Oural, au Brésil, dans les Alleghanis (1), que ces terrains, à la fois aurifères et métamorphiques, atteignent de grandes dimensions.

(1) Sur ce dernier pays, un mémoire récent de M. Lieber

En résumé les dépôts métallifères, ainsi que les épanchements silieeux qui sillonnent beaucoup de contrées, ne sont que des cas particuliers des phénomènes métamorphiques.

CHAPITRE VI.

DÉCOMPOSITION DES ROCHES SILICATÉES ET SOURCES MINÉRALES.

Des causes, paraissant avoir une certaine analogie avec celles qui ont changé les couches sédimentaires en roches cristallines, ont souvent produit un effet inverse, et ont transformé des roches silicatées cristallines en silicates hydratés, tantôt amorphes et terreux, tels que les argiles, la stéatite, la terre verte, tantôt eux-mêmes cristallins, comme les zéolithes.

mation argiles s actions phériques.

On sait, surtout depuis les recherches d'Ébelmen, comment les agents atmosphériques décomposent graduellement les roches silicatées (1). L'acide carbonique de l'atmosphère, l'acide nitrique qui s'y développe journellement, comme l'atteste le phénomène si général de la nitrification, enfin les acides organiques résultant de la décomposition des matières végétales, éliminent graduellement les alcalis, les terres alcalines, et les résidus, dans lesquels l'alumine se concentre de plus en plus, deviennent finalement des hydrosilicates d'alumine de la famille des argiles.

nt souvent roduites l'action anations erraines s roches istantes.

Mais ce n'est pas seulement au voisinage de l'atmosphère que les argiles ont pu dériver de la transformation des roches silicatées cristallines.

---

fournit des renseignements détaillés et intéressants (Cotta. *Gangstudien*, t. II. 1860.)

(1) Je ne puis mentionner ici les importants travaux sur ce sujet de MM. Fuchs, Berthier, Forchhammer, Turner, Fournet, Al. Brongniart, Malaguti et autres.

Les fumarolles volcaniques réduisent souvent les masses qu'elles traversent en véritables argiles, ordinairement bariolées (îles Lipari, Solfatare de Pouzzoles, Islande, Açores, Kamtschatka) (1). C'est là sans doute l'origine des boues que rejettent parfois les grands volcans des Andes. L'acide carbonique suffit même pour produire une décomposition analogue, ainsi que M. Fournet l'a reconnu depuis longtemps en Auvergne. Fumarolles volcaniques.

Les solutions alcalines que renferment beaucoup de sources thermales, celles de Plombières par exemple, paraissent décomposer les roches silicatées, aussi énergiquement que le font les acides des fumarolles. Eaux alcalines.

Des effets semblables se constatent souvent dans le voisinage des dépôts métallifères. Ainsi le gîte de kaolin d'Aue, en Saxe, résulte certainement d'une décomposition du granite, près des filons de fer qui le traversent; cet exemple peut être considéré comme le type de beaucoup de faits du même genre (2). Les divers amas de kaolin exploités en Cornouailles sont aussi associés aux gîtes d'étain; ils portent, ainsi que je l'ai remarqué depuis longtemps, la date et comme le stigmate de leur origine, dans la substitution de l'oxyde d'étain et de la tourmaline aux cristaux de feldspath qui ont été dissous. Le kaolin de Association fréquente de kaolin et de halloysite à des gîtes métallifères.

(1) D'après les observations de Breislack, de MM. Hoffmann, Bunsen, Darwin et autres. M. Charles Deville a expliqué par une expérience cette réaction de l'hydrogène sulfuré sur les roches.

(2) Sosa en Saxe, près d'un filon de quartz avec minerai de fer; environs d'Alençon, près d'un filon de quartz; gîtes de la Loire d'après M. Gruner et M. Rozet; feldspath décomposé des arkoses de la France centrale, etc.; halloysite de Louhassoa près Bayonne; kaolin d'Eschassières (Allier), dans le porphyre feldspathique, d'après M. Boulanger.

Ce sont des faits de ce genre qui avaient porté MM. Brongniart et Malaguti à attribuer la décomposition du feldspath à des effets voltaïques.

Middletown dans le Connecticut, avoisiné de silicates fluorés et de colombite, résulte probablement d'actions semblables.

Ces derniers faits nous autorisent à penser que des phénomènes analogues ont dû produire la décomposition des roches cristallines en kaolin, là même où l'on n'aperçoit pas aujourd'hui de dépôts métallifères; car, dans ce cas, les eaux qui ont agi pouvaient bien ne pas contenir de dissolutions métalliques. Ainsi le granite des Vosges est souvent altéré, notamment à Plombières, jusqu'à de grandes profondeurs. Quelquefois même, comme je l'ai montré ailleurs, la décomposition et la régénération du feldspath ont souvent eu lieu sur des points voisins, constituant ainsi comme deux phénomènes complémentaires (1).

C'est peut-être à des actions du même genre qu'il faut rattacher la transformation, à l'état argileux, de massifs entiers de porphyre feldspathique, ce qui a valu en allemand à cette variété le nom de *thonporphyr*: les cristaux de feldspath, tout en étant parfaitement formés, ne sont plus en général que du kaolin.

Les sources de Plombières qui nous ont donné des exemples de la production de minéraux nous montrent aussi que certains hydrosilicates d'alumine du groupe des argiles, ne proviennent pas d'une décomposition *sur place*. L'halloysite (ou savon de Plombières), dont ces sources rapportent des profondeurs les éléments en dissolution, vient se déposer dans les canaux des sources, à la manière d'un véritable précipité chimique (2). On doit attribuer une origine semblable aux

(1) *Annales des mines*, 5ᵉ série, t. XII, p. 315. 1857.

(2) Mémoire sur la relation des sources thermales de Plombières avec les filons métallifères. *Bulletin de la société géologique de France*, 2ᵉ série, t. XVI. p. 567.

halloysites, lithomarges et autres hydrosilicates d'alumine qui dans la France centrale, au Hartz, en Saxe, et ailleurs accompagnent souvent les gîtes métallifères avoisinant le granite (1).

Productio des zéolith par épigén au moins dans certai gisements

Les zéolithes, et nous le démontrerons plus loin, sont souvent aussi le résultat d'une véritable épigénie.

Substitutio fréquente de silicate magnésien à des minér de nature vari

Quant à la substitution fréquente de silicates magnésiens, stéatite, serpentine et talc, ou de la chlorite à des minéraux très-différents, elle paraît résulter de procédés de transformation qui ne sont pas sans analogie avec ceux dont il vient d'être question (2).

Les phénomé chimique superficiel ne sont pa étudiés ici

Si l'on prend le métamorphisme dans le sens le plus étendu du mot, quelques phénomènes d'origine superficielle se rattacheraient peut-être de loin au sujet qui m'occupe; telles seraient la précipitation du minerai de fer des marais, la production des nitrates, celle du carbonate de soude au fond des lacs, la formation des cailloux impressionnés, la décomposition de galets en

---

(1) Berthier. *Annales des mines*, 2e série, t. III, p. 255. Dufrénoy, mêmes annales, 3e série, t. III, p. 393.

Halloysites avec manganèse près Nontron et Thiviers; avec galène et calamine à Villefranche, Angleur près Liége, la Vieille-Montagne, Tarnowitz; avec l'oxyde de fer à la Voulte; avec l'étain oxydé à Ehrenfriedersdorf, Zinnwald, etc.

(2) L'attention a été depuis longtemps dirigée sur les épigénies dont on connaît des exemples remarquables à Gopfersgrun et Thiersheim près Wunsiedel en Franconie, à Snarum en Norwége, à Predazzo en Tyrol, au Canada, et dans les roches cristallines des Alpes, y compris la protogyne. MM. Blum, Bischof, Volger et d'autres ont fait de nombreuses remarques sur l'origine probable de ces intéressantes substitutions.

L'hypothèse d'une épigénie est confirmée par l'observation qu'a faite M. de Sénarmont que des cristaux de serpentine, coupés en tranches minces, laissent passer la lumière, sans lui imprimer aucune des propriétés qui caractérisent une véritable cristallisation, et qui par conséquent n'appartiennent pas à des cristaux *sui generis*. *Annales des mines*, 5e série, t. VIII, p. 498.

kaolin, etc. Mais il serait difficile d'embrasser ici dans leur ensemble toutes ces transformations incessantes qui sont comme la vie du monde inorganique; je me restreindrai aux actions *d'origine profonde.*

TROISIÈME PARTIE.

CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES SUR LA CAUSE DES PHÉNOMÈNES MÉTAMORPHIQUES; EXPÉRIENCES SYNTHÉTIQUES A L'APPUI.

Dans les considérations théoriques que je vais exposer, je m'occuperai d'abord des roches dont l'origine métamorphique est démontrée par les conditions de leur gisement; les roches cristallines les plus anciennes, que l'on a quelquefois aussi considérées comme métamorphiques, mais sans les mêmes preuves à l'appui, feront l'objet d'un appendice qui termine ce travail. Quant aux dolomies et aux roches qui s'y rattachent, je n'ajouterai rien aux faits et aux explications que j'ai mentionnés dans la seconde partie.

CHAPITRE PREMIER.

LA CHALEUR INTERNE : SES EFFETS SUR LE MÉTAMORPHISME. ELLE NE SUFFIT PAS POUR EXPLIQUER TOUS LES PHÉNOMÈNES.

La ...eur interne ...u globe est la ...e première ...phénomènes.

Les modifications des terrains compris sous le nom de métamorphiques ont incontestablement eu lieu à une température plus élevée que celle qui règne maintenant à la surface du globe. On peut le conclure d'abord du seul fait des analogies minéralogiques de ces terrains avec les roches éruptives, et notamment de la présence de nombreux silicates anhydres qui forment un de leurs traits les plus remarquables; en second lieu, de leur relation évidente avec des

dislocations dont le point de départ est toujours dans les régions profondes, et qui ont incontestablement pour cause première la chaleur interne du globe.

La chaleur propre du globe décroît nécessairement du centre vers la surface, et par conséquent, des sédiments déposés dans l'Océan, à la température relativement basse qui règne généralement dans ses profondeurs, ont dû, quand ils ont été recouverts ensuite par d'autres couches, acquérir une température plus élevée, en raison de leur plus grand éloignement de la surface de rayonnement (1). La superposition de remblais puissants, comme le sont certains terrains stratifiés, a pu souvent suffire pour déterminer le réchauffement notable des masses inférieures, postérieurement à leur dépôt, surtout aux époques où l'accroissement de la chaleur, selon la verticale, suivait une loi beaucoup plus rapide qu'aujourd'hui.

Elle a dû é[...] la températ[...] des sédimen[...] à mesure qu'ils étaie[...] recouvert[...] par d'autr[...]

On peut ajouter une observation : actuellement que le fond d'une grande partie de l'Océan ne paraît pas dépasser la température de trois ou quatre degrés, par ce fait seul qu'un dépôt sédimentaire serait mis à sec dans les régions tempérées, et que sa surface gagnerait par conséquent quelques degrés de température moyenne, tous les points situés sur une même verticale devraient également augmenter de température (2).

Ainsi la propagation régulière de la chaleur du globe

---

(1) Cette remarque est due à M. Babbage. *Lond. Edinb. phil. mag.*, V, 213. Sir John Herschel a fait des observations sur les réactions chimiques qu'ont dû subir les terrains par suite de cette élévation ultérieure de température. (*Leonhards Jahrbuch*, 1838, p. 93, et 1839, p. 347).

Le fond de la mer étant à une basse température, on ne pouvait admettre le réchauffement des couches sédimentaires dans les termes où l'avait indiqué Huttou.

(2) D'après la remarque de sir John Herschel. Notice précitée.

a pu agir sur des terrains entiers et y produire graduellement la transformation que M. Élie de Beaumont a caractérisée par le nom de *métamorphisme normal.*

A part les effets de cette cause générale et en quelque sorte latente, il est des parties circonscrites où la chaleur s'est portée très-près de la surface, notamment à la suite des roches éruptives. De là des centres particuliers autour desquels la chaleur interne est venue produire le *métamorphisme accidentel ou de juxtaposition.*

leur seule de rendre mpte rincipales nstances énomène.

Toutefois, des raisons très-puissantes font croire que dans l'un et dans l'autre cas, ce n'est pas la chaleur seule qui a agi. Lors même que la température eût pu devenir assez haute dans les roches transformées pour en opérer le ramollissement, ce qui est le plus souvent tout à fait improbable (1), elle serait insuffisante pour rendre compte de la diversité des effets constatés. Les observations suivantes le prouvent :

ndeur iformité ction.

Si la chaleur seule est cause des modifications qu'on observe dans des terrains dont la puissance dépasse souvent mille mètres, comment cette action s'est-elle étendue sur une telle épaisseur? Pourquoi, au moins, n'est-elle pas, d'après les lois connues de la propagation de la chaleur et à raison de la faible conductibilité des roches, d'une énergie incomparablement moindre dans les parties éloignées que dans les parties voisines de la surface d'arrivée? C'est pourtant ce qui n'existe pas, et la grandeur, comme l'uniformité des effets produits dans des massifs montagneux entiers, est un phénomène des plus frappants (2).

(1) MM. Bischof et Durocher ont insisté sur des arguments de ce genre.

(2) Souvent aussi dans le métamorphisme de juxtaposition, ce n'est pas toujours dans les parties les plus voisines du contact des roches éruptives que les effets ont été le plus énergiques; M. Durocher a donné divers exemples de ce genre.

De plus, si, laissant de côté les relations d'ensemble on passe aux faits de détail, on trouve encore, dans le mode d'agencement des minéraux des roches métamorphiques, une foule de circonstances d'association ou de gisement qui empêchent d'admettre pour ces minéraux une origine due à la chaleur seule.

Mode d'agenceme des minéra

Pour en citer un exemple, je rappellerai le fait si fréquent de la cristallisation de silicates alumineux, comme la chiastolite et la staurotide, au milieu de phyllades fossilifères, et celles du grenat, du pyroxène ou du feldspath dans des calcaires également d'origine sédimentaire, qui souvent même ne sont pas sensiblement modifiés.

La chaleur, puis la cristallisation qui est la conséquence du refroidissement, peuvent, il est vrai, opérer des départs ou liquations entre des substances qui étaient primitivement dissoutes l'une dans l'autre; c'est ainsi que le carbone se sépare de la fonte, en cristaux, à l'état de graphite. Mais l'expérience directe ne nous montre rien d'analogue au développement, sous l'action de la chaleur, de cristaux isolés de grenat, de pyroxène, de feldspath, de disthène, dans une gangue calcaire, qui n'a pas même été ramollie, et qui, selon toutes les apparences, n'a été que très-faiblement échauffée (1).

On conçoit que des actions lentes, comme la nature en emploie si souvent pour élaborer les produits minéraux, soient capables de bien des résultats que l'homme est impuissant à imiter; mais a-t-on le droit de chercher exclusivement dans la durée du temps et dans des

(1) L'association du graphite à des silicates à base de protoxyde de fer, comme le mica et l'amphibole, ne doit pas avoir pris naissance, comme l'a remarqué M. Bischof, à une température très-élevée (*Géologie*, t. II, p. 60); car il en serait résulté une réduction, au moins partielle, du fer à l'état métallique.

La présence fréquente du graphique dans le calcaire conduit encore M. Bischof à la même conclusion; car ces deux corps réagissent l'un sur l'autre à une haute température.

causes vagues, pour ainsi dire occultes, des explications que rien d'ailleurs ne justifierait?

Un même minéral peut se rencontrer parfaitement isolé et cristallisé au milieu de matrices très-différentes : la tourmaline, le mica, le feldspath, le grenat, l'épidote, par exemple, se présentent, souvent avec les mêmes caractères, au milieu du quartz et dans le sein du calcaire ou de la dolomie. Cette indépendance des silicates vis-à-vis de leur gangue paraît aussi annoncer que les minéraux ne sont pas de simples produits de liquation puisque des milieux aussi différents n'auraient pas sécrété des composés identiques.

Partout, d'ailleurs, on rencontre dans les roches métamorphiques des minéraux très-inégalement fusibles qui ont cristallisé dans une succession tout à fait opposée à l'ordre de leur fusibilité.

Apport d'éléments étrangers.

Des arguments de nature diverse s'opposent donc à ce qu'on admette qu'un métamorphisme, n'ayant pas d'autre cause que la chaleur, ait pu donner naissance, dans les roches qui l'ont subi, aux minéraux qu'on y rencontre, même quand ces derniers ne paraissent pas contenir de corps simples, étrangers à la composition normale primitive. Mais combien cette conclusion est plus démonstrative, quand on voit, au Brésil, le changement d'état des roches coïncider visiblement avec l'introduction de corps tout spéciaux qui, selon toute probabilité, n'ont pu venir s'y fixer qu'ultérieurement?

CHAPITRE II.

DE CERTAINES VAPEURS CONSIDÉRÉES COMME AUXILIAIRES DE LA CHALEUR; LEUR ACTION COMBINÉE AVEC CELLE DE LA CHALEUR EST ENCORE INSUFFISANTE.

Les vapeurs volcaniques ont pu servir d'auxiliaire à la chaleur.

Si la chaleur seule a été impuissante à produire les effets dont nous venons de parler, son action, aidée de certains corps gazeux ou faciles à réduire en vapeur,

deviendra-t-elle alors capable de suffire à leur explication ? C'est l'idée qui s'est naturellement présentée la première à l'esprit ; car la nature montrait des vapeurs abondantes et à affinités énergiques, dans les exhalaisons des cratères des volcans ou de leurs laves encore incandescentes. Ces vapeurs et gaz sont des composés où dominent les corps électro-négatifs, que les anciens minéralogistes appelaient, comme par instinct, les *minéralisateurs*, savoir : chlore, soufre, carbone; plus rarement le fluor et le bore. Les observations récentes de MM. Boussingault, Bunsen et Charles Deville, ont contribué à bien faire connaître la nature de ces déjections gazeuses ou volatiles.

Acides carboniqu sulfhydriqu sulfuriqu

L'acide carbonique, l'acide sulfhydrique, l'acide sulfurique même, ont pu réagir autrefois sur quelques roches, d'une manière semblable à ce que l'on observe aujourd'hui dans certains gisements de gypse et d'alunite, ou dans les roches voisines des volcans des Andes et de Java, qui se réduisent sous leur action en une véritable boue.

Chlorures et acide chlorhydriq exemples de leurs eff

La décomposition de vapeurs chlorurées forme, sous nos yeux, le fer oligiste, et a pu donner naissance autrefois, dans beaucoup de gisements, à l'oxyde d'étain et à l'oxyde de titane, comme l'apprennent à la fois l'observation et l'expérience synthétique. C'est d'une manière analogue que la magnésie cristallisée ou périclase, engagée dans les calcaires rejetés de la Somma, a peut-être été produite par la décomposition du chlorure de magnésium par le carbonate de chaux. Cette supposition, que rendait vraisemblable l'abondance des vapeurs chlorurées du volcan actuel, a été corroborée par l'expérience dans laquelle j'ai imité artificiellement ce minéral (1).

(1) Recherches sur la production artificielle des minéraux de la famille des silicates et des aluminates par la réaction des

Il est remarquable de voir les mêmes corps, qui produisent la périclase aux dépens du calcaire, former, en dissolution et à une température moindre, de la dolomie.

Le rôle qu'ont joué les chlorures à de hautes températures, pour produire la cristallisation des minéraux, ressort d'ailleurs clairement des expériences plus récentes de MM. Manross, Forchhammer et Henri Deville.

D'autres expériences ont aussi montré que les chlorures de silicium et d'aluminium en réagissant, à l'état de vapeur, sur les bases qui entrent dans la constitution des roches, y forment des silicates simples ou multiples qui sont identiques aux produits naturels (1). Or, si le mica exhale encore par la chaleur des fluorurés de silicium, de bore et de lithium, osera-t-on affirmer que les pâtes granitiques n'aient pas aussi renfermé dans l'origine des chlorures de silicium, de bore et de lithium, bien qu'on ne les trouve pas au milieu des vapeurs qu'on recueille aujourd'hui à proximité des orifices volcaniques ; car ils ne manqueraient pas d'y être décomposés et précipités par la vapeur d'eau avant d'arriver à l'atmosphère. Ne voit-on pas d'ailleurs encore le chlore fixé en quantités considérables dans certains massifs cristallins, comme la syénite zirconienne de Norwége et la roche de l'Ilmen (miascite), où il est principalement combiné à l'éléolithe, et où il fait partie du cortége du zirconium, du tantale et d'autres éléments rares qui sont presque exclusivement propres à ces roches ?

[...]sés fluorés [...] borés ; [...]intervention [...]robable [...] formation [...]es d'étain, [...] dans les terrains [...]morphiques [...]actérisés [...] mêmes [...]aux.

Quant au fluor et au bore (2), j'ai fait voir depuis longtemps qu'ils paraissent avoir concouru à la forma-

vapeurs sur les roches. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXXIX, p. 135.

(1) Mémoire de M. Daubrée qui vient d'être cité.

(2) La présence du fluor déjà, reconnue dans diverses roches volcaniques modernes, a été constatée par M. Scacchi dans

tion de beaucoup d'amas stannifères (1). Ils entrent, en effet, dans la constitution de silicates caractéristiques, comme la topaze et la tourmaline, qui y ont été certainement engendrés en même temps que l'oxyde d'étain (2).

Ces conclusions sont également applicables à des roches dont l'origine métamorphique est due, selon toute vraisemblance, à des phénomènes analogues. Telle est la roche bien connue de Schneckenstein, en Saxe, où ces topazes et ces tourmalines paraissent être venues s'insinuer entre les feuillets du schiste, tout en cimentant, concurremment avec le quartz, les nombreux fragments dans lesquels ce schiste avait été concassé. Il en est de même au Brésil, pour des terrains entiers, tels que ceux où abonde la topaze dans la contrée de Villarica, schistes dans lesquels l'or et le diamant se sont produits sur de vastes étendues, avec les mêmes minéraux caractéristiques. Ces terrains ne sont en quelque sorte qu'une accumulation, sur un grand espace, des gangues habituelles de l'oxyde d'étain (3).

---

un dépôt récent de fumarolles du Vésuve. Quant au bore, d'après les énormes quantités qui sortent des *soffioni* de la Toscane et les dépôts notables du cratère de Vulcano, on ne peut guère douter qu'il n'en existe dans beaucoup d'autres localités où il a passé inaperçu jusqu'à ce jour.

(1) Mémoire sur le gisement, la constitution et l'origine des amas de minerais d'étain. *Annales des mines*, 3e série, t. XX, p. 65, 1841.

Recherches sur la production artificielle de l'oxyde d'étain, de l'oxyde de titane, etc. *Annales des mines*, 4e série, t. XVII, p. 129. 1849.

(2) Ce premier rapprochement, établi entre le bore et l'étain sur des données purement géologiques, a été suivi de la découverte d'une analogie inattendue entre deux corps dont les propriétés chimiques sont si différentes : je veux parler de leur isomorphisme qui a été démontré par les études de M. Sella.

(3) Je suis d'ailleurs bien loin de penser que ces diverses roches quartzeuses aient été formées sans la présence de l'eau ; je vais bientôt revenir sur ce sujet.

Il reste d'ailleurs encore fixé dans le granite des quantités assez sensibles de fluor et même de bore pour que l'on puisse admettre que cette roche a pu fournir, avant de se solidifier, des quantités notables de vapeurs où ces corps étaient en combinaison.

Ces idées sur l'intervention du fluor et du bore, qui datent de vingt ans, ont encore acquis plus de valeur depuis que M. Henri Deville a fait cristalliser une série de minéraux à l'aide des fluorures, et que, d'autre part, la présence du fluor et du bore a été constatée dans beaucoup d'eaux minérales, et même celle du premier dans l'eau de la mer.

chaleur, même l'auxiliaire s diverses ipeurs, it explique hénomènes idérables du norphisme.

On explique par la chaleur, accompagnée des auxiliaires dont je viens de parler, un plus grand nombre de transformations que par la chaleur seule ; mais, avec ces seuls agents, on ne peut se rendre compte de certaines circonstances très-importantes qu'en attribuant aux vapeurs un rôle évidemment bien exagéré. C'est ce que M. Bischof et d'autres savants ont bien fait ressortir par de nombreuses considérations (1).

CHAPITRE III.

DE L'EAU CONSIDÉRÉE COMME AGENT DE MÉTAMORPHISME.

ondance 'eau dans iénomènes caniques.

Mais dans les exhalaisons volcaniques, il est un corps qui n'a pas tout d'abord fixé l'attention, parce que sous l'empire des idées anciennes, il semblait tout à fait inerte, surtout en présence des minéraux dont il s'agit d'expliquer la formation. Il n'y existe pas en quantité minime comme les vapeurs dont nous venons de nous occuper ; c'est au contraire le produit à la fois le plus abondant et le plus constant des éruptions dans toutes

(1) Comment, par exemple, admettre une telle origine pour la formation de cristaux de feldspath ou de grenat dans des couches régulières, qui sont souvent à peine modifiées ?

les régions du globe. Ce corps, c'est l'eau, et nous verrons que le premier rôle lui est dévolu, dans les phénomènes métamorphiques aussi bien que dans les éruptions de volcans.

La singulière propriété que possèdent les silicates incandescents des laves, de retenir pendant fort longtemps et jusqu'au moment de leur solidification, des quantités d'eau considérables, démontre clairement que l'action de la chaleur n'exclut pas celle de l'eau, et paraît annoncer que cette dernière a même, à ces hautes températures, une certaine affinité pour les silicates. Elle existe jusque dans les laves incandescentes.

Nous ne connaissons des masses situées à une certaine profondeur dans notre globe que ce qu'en apportent les volcans; or ces déjections renferment toutes, sans exception, de l'eau soit combinée, soit mélangée; nous sommes donc en droit de penser que l'eau joue un rôle tout à fait important dans les principaux phénomènes qui émanent des profondeurs. On a vu en effet dans la partie historique de ce travail, que des motifs concluants ont déjà fait attribuer à l'eau des actions très-puissantes, telles que la formation de beaucoup de filons métallifères et une influence incontestable sur la cristallisation des roches éruptives elles-mêmes, y compris le granite. Son intervention déjà reconnue dans la formation des filons métallifères, et soupçonnée dans la cristallisation des roches éruptives.

A la vérité, les laves les plus chaudes et les plus chargées d'eau, ainsi que les basaltes et les trachytes, ne modifient pas les roches sur des épaisseurs notables; mais cela tient sans doute à ce que, dès qu'elles passent à la simple pression atmosphérique, l'eau peut s'échapper en se réduisant à l'état de vapeur. Ce que les laves apprennent de son action.

Les nombreux blocs de calcaire venus des foyers volcaniques dans les tufs de la Somma nous montrent, en effet, dans leurs géodes tapissées de minéraux si va- La pression paraît nécessaire pour qu'elle produise un grand effet.

riés et si bien cristallisés, ce que peuvent subir des roches lorsqu'elles sont exposées à l'action permanente de certains agents, sous la pression, sans laquelle quelques-uns de ces agents ne sauraient acquérir toute leur énergie, ni d'autres même subsister.

Quelque chose de tout à fait comparable est offert par le petit massif basaltique de Kaiserstuhl dans le grand-duché de Bade (1). Un lambeau de calcaire, arraché par le basalte aux terrains qu'il a traversés, a été modifié par lui de la manière la plus intime. Ce calcaire devenu tout à fait lamellaire, renferme des cristaux de fer oxydulé titanifère, de pyrite de fer, de mica magnésien, de perowskite, de pyrochlore, du quartz cristallisé et d'innombrables aiguilles d'apatite. Le privilége, si exceptionnel parmi les roches en contact avec les basaltes, qui caractérise le calcaire du Kaiserstuhl, me paraît résulter de son gisement. Ce calcaire est en effet situé au fond d'un cirque de soulèvement. Avant que la dernière dislocation subie par le massif mît le calcaire au jour, il était soumis, à une certaine profondeur, et, par conséquent, sous pression, aux eaux chaudes dont le basalte était lui-même imbibé et qui ont aussi déposé des minéraux dans ses innombrables boursouflures.

De même que le calcaire du Kaiserstuhl, les calcaires si riches en minéraux variés de la Somma et celui du Latium, ont été élaborés dans des points où se sont formés des cratères de soulèvement. Quand les couches qui fermaient hermétiquement le lieu où se passaient ces réactions chimiques ont donné, en se brisant, issue

(1) *Annales des mines*, 5e série, t. XII, p. 322.—Il en est encore de même des schistes devenus micacés que M. Mitscherlich a observés dans les produits volcaniques de l'Eifel (Naumann. *Geognosie*, t. I, p. 791).

aux agents qui les produisaient, ces réactions ont cessé d'avoir lieu.

Or quelle différence d'actions peut-il exister, dans le cas qui nous occupe, entre ce qui se passe à la surface et ce qui se passe dans les régions profondes? Pas d'autre, selon toute apparence, que celle qui est due à la différence des pressions.

Ajoutons, d'ailleurs, que si la vapeur d'eau très-chaude, pas plus que l'eau liquide jusqu'à son point d'ébullition, ne peut arriver à produire dans les expériences ordinaires des silicates, tels que ceux que nous offrent les terrains métamorphiques, c'est qu'il manque pour cela quelque chose d'essentiel, et tout annonce que, ce qui manque, c'est la pression.

Tout ce qui préc conduit à f envisager l' comme un a de premiè importanc et à étudier e rimentalem ses effets sous chalo et pressio

En résumé, nous venons de voir comment on peut à bon droit soupçonner le concours de la chaleur, de l'eau et de la pression comme capable de produire les principaux phénomènes du métamorphisme. Il ne restait qu'à se placer dans des conditions aussi voisines que possible de celles dans lesquelles la nature paraît avoir agi, et à examiner si l'on obtiendrait la reproduction des minéraux caractéristiques. Tel est le but d'une série d'expériences que j'ai entreprises et dont je vais rendre compte.

CHAPITRE IV.

EXPÉRIENCES SUR L'ACTION EXERCÉE DANS LA FORMATION DES SILICATES PAR L'EAU SURÉCHAUFFÉE.

Plusieurs de ces expériences ont déjà été décrites dans un mémoire précédent (1). Je crois cependant devoir reproduire ici les principaux résultats qui sont

(1) Observations sur le métamorphisme et recherches expérimentales sur quelques-uns des agents qui ont pu le produire. *Annales des mines*, 5e série, t. XII, p. 289. 1857, et *Bulletin de la société géologique de France*, 2e série, t. XV, p. 97, 1858.

consignés dans ce premier travail, et y ajouter ceux que j'ai obtenus ultérieurement.

En comptant même pour rien les dangers d'explosion qui sont souvent d'une violence tout à fait surprenante (1), les difficultés d'expérimentation m'ont empêché de multiplier ces résultats comme il eût été désirable ; cependant les faits déjà reconnus sont concluants et montrent la fécondité de cette voie d'expérimentation.

La difficulté principale consiste à trouver des parois et des fermetures qui résistent assez longtemps à l'énorme tension qu'acquiert la vapeur d'eau, quand la température s'élève vers le rouge sombre. L'eau et les matières qui doivent réagir sont placées dans un tube en verre que l'on scelle ensuite. On introduit ce tube en verre dans un tube en fer, à parois très-épaisses, qui est clos à la forge à l'une de ses extrémités. L'autre extrémité est souvent fermée au moyen d'un long bouchon à vis, muni d'une tête carrée qu'on peut serrer fortement en la tournant avec une clef. Entre la tête de la vis, qui doit être exécutée avec beaucoup de précision, et le rebord du tube, est placée une rondelle en cuivre bien

(1) Des tubes d'un diamètre intérieur de 21 millimètres et d'une épaisseur de 11 millimètres, fabriqués avec du fer d'excellente qualité, font quelquefois explosion ; ils se déchirent suivant une de leurs génératrices, et sont alors projetés en l'air avec un bruit comparable à celui d'un coup de canon. Si le fer n'avait point de défaut, et que l'on estimât qu'il conserve à 300° la même ténacité qu'à froid, de telles déchirures supposeraient une pression intérieure de plus de 1.000 atmosphères.

Il est à remarquer qu'avant d'éclater, le tube se bombe sous forme d'une ampoule de 5 à 6 centimètres de longueur, et c'est au milieu de cette ampoule que s'ouvre la boutonnière, de façon à rappeler d'une manière frappante le relief de la gibbosité de l'Etna, avec l'échancrure centrale du Val del Bove, dont l'origine a depuis longtemps été attribuée par MM. de Buch et Élie de Beaumont à une force expansive du même genre.

pur ; elle doit être assez mince pour pouvoir s'écraser, lors de la fermeture, par la pression du rebord, et s'incruster dans des rainures pratiquées à cet effet. Cependant, pour fermer la seconde extrémité, j'adopte maintenant de préférence un autre procédé : j'y rapporte à la forge un fort bouchon de fer qui arrive à faire corps avec le canon, si la soudure a été habilement opérée. Il faut, pour réussir, un ouvrier très-adroit ; car il est essentiel que la plus grande partie du canon reste froide, afin que l'eau intérieure, en se vaporisant, ne contrarie pas l'opération.

Pour contre-balancer, dans l'intérieur du tube de verre, la tension de la vapeur qui pourrait le faire éclater, on verse de l'eau extérieurement à ce tube, entre ses parois et celles du tube de fer qui lui sert d'enveloppe. De cette manière, l'effort principal est reporté sur ce dernier tube qui présente beaucoup plus de résistance.

Ces appareils, comme ceux dont M. de Sénarmont a fait usage, sont couchés sur le dôme ou sur les carneaux d'un four à cornues d'usine à gaz, en contact avec une maçonnerie qui est au rouge sombre, et enfouis sous une couche épaisse de sable.

Action énerg de l'eau sur les silic tels que le v

A une température qui est au-dessous du rouge naissant, l'eau réagit très-énergiquement sur certains silicates.

Productio d'un silic zéolithiq et de quar avec élimin d'un silicate solu

Ainsi le verre ordinaire donne, au bout de quelques jours, deux et souvent trois produits distincts : 1° Une masse blanche et tout à fait opaque qui résulte d'une transformation complète du verre ; elle est poreuse, happant à la langue, et aurait l'aspect du kaolin, si elle n'avait une structure fibreuse très-prononcée. La substance a perdu une quantité notable de son poids, environ la moitié de sa silice et le tiers de son alcali ; il s'est formé un nouveau silicate qui a fixé de l'eau et

qui appartient, par sa composition, à la famille des zéolithes (1); 2° du silicate alcalin qui s'est dissous en entraînant de l'alumine; 3° souvent il s'est en outre développé d'innombrables cristaux incolores, d'une limpidité parfaite, qui offrent la forme ordinaire bipyramidée du quartz et qui, en effet, ne sont autres que de la silice cristallisée. Certains cristaux ainsi formés atteignent 2 millimètres au bout d'un mois. Tantôt ils sont isolés dans la pâte opaque, tantôt ils sont implantés sur les parois du tube primitif, où ils forment de véritables géodes, qu'il serait de toute impossibilité de distinguer, à la dimension près, de celles que les roches cristallines présentent si fréquemment.

quantité nécessaire produire e rphisme.

Ce qui rend cette transformation du verre encore plus remarquable, au point de vue géologique aussi bien que sous le rapport chimique, c'est qu'elle s'obtient par une très-faible quantité d'eau, par un poids qui n'est pas même égal au tiers de celui du verre transformé.

rmation sidienne dspath. §

Les verres volcaniques connus sous le nom d'*obsidiennes*, se comportent d'une manière comparable aux verres artificiels. Des morceaux d'obsidienne chauffés dans les mêmes conditions se changent en un produit d'une nature grisâtre, cristalline, ayant l'aspect d'un trachyte à grains fins. La poussière de ce produit, examinée au microscope, montre tout à fait les caractères du feldspath cristallisé, et ressemble surtout au rhyacolite ou feldspath vitreux. On sait du reste que l'obsidienne paraît se rapprocher beaucoup du feldspath par sa composition chimique; des circonstances favorables

---

(1) *Bulletin de la société géologique de France*, 2e série, t. XVI, p. 588. A une température plus élevée, on obtient un silicate anhydre qui paraît voisin de la wollastonite.

auront sans doute déterminé la réunion de ses éléments dans des proportions définies.

La tendance que le feldspath manifeste ainsi à se produire par la voie humide, est à prendre en considération dans diverses circonstances géologiques.

Stabili des felds et d'autres si cristalli dans les n conditio

Avec les fragments d'obsidienne sur lesquels j'ai opéré, se trouvaient des morceaux de feldspath vitreux détachés du trachyte du Drachenfels, et de l'oligoclase de Suède. Ces deux derniers minéraux n'ont subi aucune altération appréciable (1). On ne peut toutefois affirmer que si l'eau n'avait pas immédiatement trouvé d'alcali à enlever à l'enveloppe vitreuse, elle n'en aurait pas pris au feldspath.

Nous voyons ici une sorte de confirmation de l'expérience précédente sur la stabilité des silicates, qui ont originairement cristallisé dans des conditions peut-être assez voisines de celles où ils se trouvaient de nouveau placés.

Il en est à peu près de même des feuilles très-minces de mica potassique de Sibérie; elles ont à peine perdu de leur transparence.

Des cristaux de pyroxène n'ont pas plus changé d'aspect, si ce n'est que, comme les morceaux de feldspath et d'obsidienne, ils ont été si complétement enveloppés de cristaux de quartz, qu'il faut les briser pour en reconnaître la nature.

Certai eaux min surécha fournis du qu

Pour examiner, autant du moins que la présence du verre le permettait, comment se comportent, à l'état suréchauffé, les dissolutions naturelles de silicate alcalin, que l'on trouve communément dans les eaux, je me suis servi de l'eau provenant des sources thermales de

(1) Cependant le feldspath peut se décomposer à froid, par la trituration, comme je l'ai montré ailleurs (*Annales des mines*, 5e série, t. XII, p. 547).

Plombières, qui est comparativement riche en silicates de potasse et de soude. Cependant, ne pouvant opérer que sur 20 à 30 centimètres cubes, j'ai préalablement concentré cette eau par une évaporation assez rapide pour que l'acide carbonique de l'air n'en décomposât pas sensiblement les silicates, et de manière à la réduire au vingtième de son volume primitif.

Après une expérience qui avait été arrêtée au bout de deux jours seulement, les parois du tube étaient déjà recouvertes d'enduits de silice sous la forme de quartz cristallisé et aussi de calcédoine. Comme le verre n'était encore altéré qu'à sa surface, ce dépôt devait provenir, au moins presque en totalité, de la décomposition du silicate alcalin contenu dans l'eau de Plombières.

Ainsi, sans l'application d'aucun réactif chimique, sous la seule influence de la chaleur, l'eau tenant en dissolution des silicates alcalins, telle que celle des sources de Plombières, dépose du quartz cristallisé ou cristallin.

dspathisation les argiles ns les mêmes onditions.

Une nouvelle preuve de la facilité avec laquelle les minéraux du groupe des feldspaths peuvent se produire en présence de l'eau, est fournie par l'expérience suivante, que j'ai faite dans le but d'expliquer des feldspathisations assez fréquentes, même dans les roches fossilifères.

Du kaolin parfaitement purifié, par le lavage, de tout débris feldspathique, ayant été traité dans un tube par l'eau de Plombières, cette masse terreuse s'est transformée en une substance solide, confusément cristallisée en petits prismes, et qui raye le verre. Après avoir purifié cette substance par un lavage à l'eau bouillante, on voit qu'elle est devenue fusible en émail blanc ; l'acide chlorhydrique ne l'attaque plus. C'est un silicate double d'alumine et d'alcali qui a tous les caractères du

feldspath ; il est mélangé d'un peu de quartz cristallisé.

La réaction, dont nous venons de rendre compte, peut se comparer à la facilité avec laquelle le silicate d'alumine absorbe la chaux, à froid, dans un mortier hydraulique.

Formation de pyroxè diopside.

A la surface et dans l'intérieur de la masse blanchâtre résultant de la transformation du tube, j'ai obtenu d'innombrables cristaux très-petits, mais de forme parfaitement nette, doués de beaucoup d'éclat et bien transparents ; ils présentent diverses nuances de vert, et beaucoup d'entre eux ont la teinte vert-olive qui est habituelle au péridot. Leur forme est celle d'un prisme oblique symétrique, dont les bases sont remplacées par deux biseaux ; deux des arêtes opposées sont ordinairement tronquées, comme dans le pyroxène que Haüy a nommé homonome. Ces cristaux rayent sensiblement le verre ; ils restent inaltérables en présence de l'acide chlorhydrique concentré et bouillant. Ils fondent au chalumeau en un émail noir. Enfin ils ont la composition du *pyroxène* à base de chaux et de fer ; et, par leur transparence, ils appartiennent à la variété *diopside.*

Hémitropi de quelques des crista

Ces cristaux sont, les uns isolés, les autres groupés de manière à former de petits globules hérissés de pointements, et plus rarement des incrustations minces. Les uns et les autres rappellent immédiatement par leur aspect les cristaux de diopside les plus connus.

Paillettes hexagonal ayant l'asp du mica

De l'argile de Klingenberg, près Cologne, que l'on emploie pour faire les creusets de verrerie, étant chauffée dans des tubes en verre, se charge d'une multitude de paillettes blanches, nacrées et douées de l'éclat du mica. Elles sont hexagonales et jouissent d'un axe optique de double réfraction (1). Elles sont fusibles, in-

(1) D'après l'examen qu'en a bien voulu faire M. de Sénarmont.

diquent au chalumeau la présence de la silice. Elles sont attaquables par l'acide chlorhydrique, qui manifeste les réactions de l'alumine. La trop faible quantité de ces paillettes que j'ai pu obtenir jusqu'à présent ne m'a pas permis d'en faire l'analyse quantitative. Il paraît toutefois très-probable que la substance est un mica à un axe ou une chlorite.

Les végétaux fossiles ayant subi des modifications sous l'influence des mêmes agents que les matières pierreuses, il convenait de voir ce que devient du bois dans l'eau surchauffée.

Des fragments de bois de sapin se sont transformés en une masse noire, douée d'un vif éclat, d'une compacité parfaite ayant, en un mot, l'aspect d'une anthracite pure; elle est assez dure pour qu'une pointe d'acier la raye difficilement.

Cette sorte d'anthracite, bien qu'infusible, est entièrement granulée sous forme de globules réguliers de diverses dimensions, d'où il résulte clairement que la substance a été *fondue* en se transformant; elle ne donne par calcination que des traces de substances volatiles; la matière ligneuse est donc arrivée à son dernier degré de décomposition. Ce carbone compacte ne se consume qu'avec une excessive lenteur, même sous le dard oxydant du chalumeau. Il diffère des charbons formés à haute température, en ce qu'il ne conduit pas l'électricité, non plus que le diamant.

Les filons d'argent de Kongsberg en Norwége, qui sont encaissés dans le gneiss, renferment de l'anthracite qui présente la plus grande ressemblance avec l'anthracite artificielle dont il vient d'être question. Elle s'est moulée au milieu de la chaux carbonatée et de l'argent natif sous des formes qui annoncent qu'elle a aussi passé par un état de mollesse.

Formation du lignite et de la houille, dans des conditions analogues.

A des températures moindres et dans des conditions d'ailleurs analogues, le bois se transforme en une sorte de lignite ou de houille.

Produits voisins des bitumes naturels

Dans ces expériences j'ai obtenu, ainsi que je l'ai dit plus haut, des produits liquides et volatils ressemblant aux bitumes naturels et possédant jusqu'à leur odeur caractéristique.

Résumé sur l'action de l'eau surchauffée en présence des silicates.

En résumé, l'eau surchauffée a une influence très-énergique sur les silicates; elle en dissout un grand nombre, détruit certaines combinaisons à bases multiples, en fait naître de nouvelles, soit hydratées, soit anhydres; enfin elle fait cristalliser ces nouveaux silicates bien au-dessous de leur point de fusion. L'acide silicique mis en liberté dans ces dédoublements s'isole sous forme de quartz cristallisé.

Des transformations si complètes sont d'ailleurs obtenues par de très-faibles quantités d'eau. En général on y distingue cette loi que, vers le rouge naissant, les affinités de la voie humide acquièrent, en ce qui concerne la production des silicates, le même caractère que celles de la voie sèche.

CHAPITRE V.

DÉDUCTIONS TIRÉES DES EXPÉRIENCES QUI PRÉCÈDENT, POUR L'EXPLICATION DE LA CRISTALLISATION DES ROCHES SILICATÉES, ÉRUPTIVES ET MÉTAMORPHIQUES.

Déductions des expériences relatives à la cristallisation des roches éruptives.

Les résultats qui viennent d'être exposés permettent de se rendre compte de ce qui se passe dans la cristallisation des roches silicatées en général, tant éruptives que métamorphiques.

Examinons d'abord les premières et commençons par les laves.

Influence de l'eau sur la cristallisation des laves.

Quel que soit l'état moléculaire de l'eau dans les laves, elle intervient, pour les faire passer à l'état cristallin, à peu près comme dans les expériences de laboratoire

pour transformer l'obsidienne en feldspath cristallisé et déposer le pyroxène en cristaux parfaits. Ainsi, dans l'un comme dans l'autre cas, l'eau paraît favoriser le *départ* de substances qui resteraient mélangées, et permettre la cristallisation des silicates à une température bien inférieure à leurs points de fusion (1).

C'est encore par l'influence de cette sorte d'eau mère que les mêmes silicates peuvent cristalliser dans une succession, qui est souvent opposée à leur ordre relatif de fusibilité. On sait par exemple que l'amphigène, silicate d'alumine et de potasse, qui est infusible, s'est développé, dans les laves de l'Italie, en cristaux souvent très-volumineux, qui empâtent de nombreux cristaux de pyroxène, substance dont on connaît la fusibilité.

Séparation du quartz dans le granite et le porphyre.

Ces anomalies apparentes se présentent d'une manière encore plus frappante dans le granite, qui diffère de tous les produits de fusion sèche que nous connaissons, et on a cherché à s'en rendre compte par diverses conjectures. On peut l'expliquer à peu près de la même manière ; seulement dans le granite l'action de l'eau paraît, d'après les observations de M. Élie de Beaumont, avoir été, encore plus que dans les laves, aidée par quelques auxiliaires, tels que des chlorures et fluorures. Dans les porphyres feldspathiques quartzifères, l'eau a pu suffire seule pour donner naissance aux cristaux bipyramidés qui caractérisent cette roche. C'est encore là un phénomène de départ qui n'a aucun analogue dans les produits de la voie sèche.

---

(1) Je rappellerai ici l'opinion de Dolomieu sur la cristallisation des laves. « Je le répéterai peut-être pour la centième fois ; les laves compactes ne sont pas des vitrifications et leur fluidité au sortir des volcans, laquelle se continue beaucoup plus longtemps que ne devrait le permettre leur refroidissement, est un effet très-singulier d'une cause qui n'est pas encore déterminée » (*Journal des mines*, n° 37, p. 402, 1797).

La remarquable association de silicates anhydres et de silicates hydratés que présente le basalte, le phonolithe et d'autres roches, n'a plus rien de surprenant, après les expériences dont je viens de rendre compte. Car dans la même opération et dans le même tube, j'ai obtenu des cristaux de pyroxène disséminés au milieu d'une zéolithe, c'est-à-dire simultanément deux éléments constitutifs du basalte. Reproducti des princip éléments de basalte

Une difficulté plus grande s'offrait encore, quand on considérait, d'une part, l'état de mollesse ou même de fluidité de certaines roches éruptives, et d'autre part, leur faible chaleur primitive, bien établie par diverses circonstances. Cette difficulté est encore levée quand on considère ce qui s'est passé, toujours dans les mêmes expériences. Des tubes en verre parfaitement réguliers ont été retrouvés, après l'opération, gauchis, déformés, couverts d'ampoules, de manière à prouver qu'ils ont subi un véritable ramollissement. Il y a plus : quelquefois le tube a en quelque façon disparu ; il s'est transformé en une sorte de boue, présentant probablement une grande analogie, tant comme consistance que comme composition, avec l'état originaire de certaines roches éruptives. Sorte de ramollissem aqueux épro par le verr et probablem analogue à la molles primitive de certaines ro éruptives.

Il se produit ici un phénomène très-remarquable et sur lequel j'aurai occasion de revenir : quoique le verre perde une partie de ses éléments en se transformant, il augmente considérablement en volume ; cette augmentation va à plus du tiers du volume primitif. Gonflemen considérab du verre.

Quand on voit l'importance du rôle de l'eau dans les phénomènes que je viens de passer en revue, n'est-on pas conduit à lui attribuer aussi, à plus forte raison, le premier rôle dans les actions métamorphiques, surtout si l'on considère la grande étendue et la remarquable uniformité de ces actions. Déduction concernan les roche métamorphiq

Existence de l'eau dans les roches.

Avant d'examiner ce dernier rôle de l'eau, il semble naturel de voir jusqu'à quel point sa présence a été possible dans les roches.

Faible quantité d'eau suffisante pour réagir sur les silicates à une haute température.

Remarquons d'abord qu'il résulte des expériences déjà citées, qu'il ne faut qu'une quantité d'eau très-minime pour produire, dans des conditions de pression et de température convenables, des changements extrêmement prononcés. On ne peut, en effet, voir sans étonnement qu'une transformation aussi complète, dans l'état chimique et physique du verre, soit obtenue par une quantité d'eau égale environ au tiers de son poids.

L'eau de constitution de certaines roches a pu suffire pour la production du phénomène.

Ceci fait comprendre que l'eau de constitution de certaines roches, telles par exemple que les argiles, ait suffi pour déterminer le métamorphisme, lorsque la température est venue lui donner le pouvoir de réagir sur les éléments auxquels elle était associée.

Eau de pénétration. Les roches les plus compactes sont poreuses.

Quant aux roches qui ne renferment pas d'eau de constitution, remarquons d'abord qu'aucune n'est dépourvue d'une certaine quantité d'eau dite *eau de carrière*. On ne peut pas comprendre que cette eau soit logée autrement que dans les pores de la roche. Toutes les roches sont donc poreuses et ce qui se passe dans la coloration artificielle de l'agate prouve que les pierres en apparence les plus compactes sont pénétrées par un liquide, en vertu de la seule force de la capillarité.

Son arrivée dans les roches est favorisée par la pression hydrostatique, qui peut être très-considérable, et par la capillarité.

On ne peut pas nier que si l'eau parvient à s'insinuer, à l'aide de crevasses, dans le revêtement solide du globe, à une profondeur seulement égale à celle de la mer, elle y acquière une pression de plusieurs centaines d'atmosphères, à l'aide de laquelle elle pénètre plus facilement peut-être dans les pores les plus ténus des roches, surtout à la température qu'elle possède à une semblable profondeur. Cette action est sans doute aidée

par la capillarité, dans des limites dont nous ne pouvons avoir aucune idée.

Du reste les roches fussent-elles tout à fait imperméables, dès que l'eau est douée de la faculté d'attaquer leur surface, il ne faut plus que du temps pour que son action se propage de proche en proche à des distances considérables. En effet, dans les tubes retirés prématurément, j'ai constaté que l'attaque avait lieu par couches successives, de telle sorte qu'il existait, au milieu de la paroi du verre, une partie transparente et tout à fait inaltérée.

Attaque de proche en proche prouvée par l'exemple du verre.

Ainsi, que l'eau des roches soit de constitution ou de pénétration, nous sommes en droit, dès que la température vient à s'élever convenablement, d'en attendre des actions comparables à celles qui se sont produites dans nos expériences, aussi bien que dans les roches éruptives.

L'eau peut produire dans les terrains stratifiés le même ordre de phénomènes que dans les roches éruptives.

C'est du reste ce qui va être vérifié dans un exemple aussi concluant que saisissant, qui abonde en faits nouveaux, et a le double mérite d'être contemporain et de s'être opéré dans des conditions aujourd'hui parfaitement connues.

CHAPITRE VI.

MÉTAMORPHISME CONTEMPORAIN DE PLOMBIÈRES.

Le béton que les Romains ont étendu à proximité des points d'émergence des sources thermales est composé de fragments de briques et de grés bigarré sans mélange de sable, et cimenté par de la chaux. Il repose tantôt sur le granite lui-même, tantôt sur le gravier d'alluvion. Sous l'action prolongée de l'eau minérale qui pénètre continuellement dans le massif de béton, j'ai reconnu que le ciment calcaire et les briques ont été en partie

Des zéolithes se sont produits dans toute une nappe de béton romain sous l'influence de l'eau minérale

transformés (1). Les combinaisons nouvelles se montrent surtout dans les cavités de la masse, où elles forment des enduits mamelonnés et quelquefois cristallisés. Les plus remarquables de ces produits par leur abondance sont des silicates de la famille des zéolithes, et notamment l'apophyllite, la chabasie et l'harmotôme.

Les briques sont intimement imprégnées de zéolithes.

A part la présence des zéolithes qui ont cristallisé dans les boursouflures, les fragments de briques qui font partie du béton romain ont souvent acquis un aspect tout particulier; ils se sont imprégnés très-intimement de silicates semblables à ceux qui ont cristallisé dans les géodes: ils ont subi un véritable métamorphisme.

Conditions dans lesquelles cette transformation a eu lieu.

J'ai pu reconnaître avec précision toutes les conditions dans lesquelles ce métamorphisme a eu lieu.

Malgré sa dureté extrême, la maçonnerie romaine donne accès à l'eau thermale, tant par ses pores que par les fissures et les cavités qui s'y rencontrent. D'ailleurs la pression des sources force l'eau à circuler lentement dans sa masse qui est ainsi non-seulement baignée, mais encore *traversée* par l'eau minérale.

Importance d'un renouvellement continu dans des actions de ce genre.

L'eau n'est donc pas stagnante; il y a *courant* très-lent, il est vrai, mais ce courant est continu. D'un autre côté, l'eau minérale de Plombières ne contient sans doute que de très-faibles quantités de matières salines (3 décigrammes par litre) qui se composent en partie de silice, potasse, soude, chaux et alumine; mais son renouvellement continuel et indéfiniment prolongé lui permet d'accumuler des dépôts de ces matières en quan-

Faible quantité de principes salins dans l'eau minérale de Plombières.

(1) Mémoire sur la relation des sources thermales de Plombières avec les filons métallifères et sur la formation contemporaine des zéolithes. *Annales des mines*, 5e série, t. XIII, p. 227; 1858. *Bulletin de la société géologique de France*, 2e série, t. XVI, p. 562.

tité notable. C'est ainsi que des actions très-faibles se multiplient avec l'aide du temps. Cette circonstance du temps manque dans la plupart des expériences tentées jusqu'à présent pour imiter la nature : mais son influence capitale sur certains phénomènes géologiques, sera facilement comprise.

A la faveur de l'alcali que cette eau renferme, elle réagit graduellement sur certaines des substances qu'elle traverse, et peut-être même, sans qu'il y ait toujours véritable dissolution, mais seulement une sorte de cémentation. Elle y engendre alors des silicates doubles hydratés qui appartiennent au groupe des zéolithes. C'est à la réunion de ces deux circonstances, circulation de l'eau et réaction chimique, que sont dues ces formations modernes.

Températu peu élevé suffisante pour la cristallisa des zéolith

Pour que ces silicates se forment et cristallisent parfaitement, il n'est pas besoin, à beaucoup près, d'une chaleur aussi élevée qu'on l'a supposé; une température de 60 à 70 degrés, qui est celle des sources minérales de Plombières, suffit à la production au moins de certains d'entre eux. Les zéolithes ont par conséquent pu souvent se produire dans les roches sous la simple pression atmosphérique et à la surface même du sol. Il est remarquable de voir ces silicates cristalliser très-nettement, par voie aqueuse, à une température où ils sont réputés insolubles dans l'eau.

Localisati des produ selon leur composi

Sur des points rapprochés les uns des autres, à quelques millimètres d'intervalle, on voit se former des produits différents, selon la nature de la pâte sur laquelle l'eau réagit. C'est ainsi que l'apophyllite, silicate qui renferme de la chaux, outre la potasse, s'est formée dans les cavités de la chaux. Je ne l'ai jamais rencontrée dans la brique; c'est au contraire presque exclusivement dans les cavités de cette dernière que

l'on trouve la chabasie, silicate double d'alumine et de potasse.

Les éléments des zéolithes n'étaient pas en totalité dissous dans l'eau.

Une même dissolution, en attaquant des roches de diverses natures, y développe donc des combinaisons spéciales à chacune d'elles. Une localisation aussi prononcée de certaines zéolithes paraît montrer que leurs éléments n'étaient pas en totalité contenus dans l'eau qui imbibait la maçonnerie; celle-ci n'en apportait qu'une partie : les éléments complémentaires, chaux, alumine ou autres, nécessaires à la constitution des nouveaux composés, étaient renfermés soit dans le mortier, soit dans les briques qui les ont cédés à l'eau.

Absence de zéolithes dans la nappe de gravier sur laquelle s'étend le béton.

Tandis que la couche de béton abonde en zéolithes, le gravier d'alluvion sur lequel on a étendu la maçonnerie ne présente aucun indice de la formation de ces silicates, bien que l'eau thermale le traverse avant d'arriver au béton. Cette dernière se borne à déposer dans les interstices des galets une masse argileuse jaunâtre, qui n'est autre qu'une de ces substances mal définies que l'on a désignées sous le nom d'argiles chimiques ou d'halloysites. Ce contraste montre encore que les zéolithes ne sont pas un dépôt immédiat de l'eau thermale, mais qu'elles se produisent seulement par la réaction de cette eau minéralisée sur d'autres silicates.

Analogie de la nature et de la disposition des minéraux rencontrés dans les maçonneries de Plombières et de ceux que renferment diverses roches éruptives.

Le travail qui se produit à Plombières s'est évidemment accompli, sur des proportions considérables, dans certaines formations géologiques.

L'ensemble des minéraux disséminés dans les innombrables cellules de la maçonnerie, les zéolithes, l'opale, l'arragonite, constituent une association qui forme fréquemment l'apanage de certaines roches éruptives.

Il y a plus : toute la manière d'être de ces minéraux contemporains rappelle dans les moindres circonstances leur disposition dans les nappes de basalte et de trapp douées de la structure amygdaloïde. Si ce n'était la différence de couleur, il serait même très-possible de confondre les parties du béton, chargées de zéolithes, avec des tufs basaltiques où se sont formés les mêmes minéraux : les briques, avec leurs boursouflures et leurs druses, imitent d'une manière surprenante les roches amygdaloïdes. Une telle identité dans les résultats décèle incontestablement de grandes analogies d'origine.

Dans le voisinage des roches volcaniques de l'Etna, de l'Islande et d'autres contrées, on rencontre une roche à laquelle on a donné le nom de *palagonite* (1). Ce silicate hydraté, facilement fusible, faisant gelée avec les acides, d'un aspect souvent résineux, a la plus grande analogie avec les silicates du béton de Plombières, et, selon toute probabilité, résulte d'une transformation semblable à celle qui a donné naissance à ces derniers.

Ressemblance frappante avec la palagonite.

Mais c'est surtout au point de vue du métamorphisme que nous devons constater ici les résultats de l'action des sources de Plombières.

---

(1) Cette roche a été observée d'abord par M. Sartorius de Waltershausen, par M. Bunsen et par M. F. Sandberger. Voir Rammelsberg, *Chemische Mineralogie*, 3ᵉ et 5ᵉ suppléments, p. 93 et 185. M. Delesse en a aussi donné une analyse. *Annales des mines*, 5ᵉ série, t. XII, p. 474.

CHAPITRE VII.

CONSÉQUENCES A TIRER DES FAITS RECONNUS A PLOMBIÈRES.

Deux conséquences remarquables déduites des faits qui se passent à Plombières.

On a dit avec raison qu'il est peu de substances insolubles, lorsque les dissolvants circulent par millions de litres. Cependant il ne faudrait pas conclure de là que les minéraux insolubles formés par l'eau dans le sein des roches, y ont été purement et simplement déposés par elle à la suite d'une action séculaire.

Première conséquence. Formation des minéraux sur place, par une sorte de fécondation.

Un des faits les plus nouveaux et les plus importants que révèle ce qui se passe à Plombières, c'est qu'en général une petite partie seulement des éléments constitutifs de ces minéraux est apportée par l'eau. Les autres éléments préexistaient dans la roche : paraissant obéir à une tendance énergique à la cristallisation, ils saisissent en quelque sorte les premiers au passage, selon leurs affinités, et le minéral est pour ainsi dire formé sur place.

Deuxième conséquence. Commune origine des filons et des minéraux métamorphiques.

Dans les filons métallifères, au contraire, presque tout ce qui a été déposé dans le canal de circulation de la source paraît étranger à la roche formant ses parois. Ce sont donc des effets très-différents de la même cause, et leur réunion sur un même point, à Plombières, ne laisse plus de doute sur cette commune origine.

Analogie entre les minéraux de Plombières et ceux des roches métamorphiques.

Il y a une analogie frappante entre la production des silicates cristallisés du béton de Plombières et la formation des silicates qui se trouvent dans une foule de roches métamorphiques ; tels sont la wernérite, le grenat, le feldspath, le pyroxène dans des calcaires souvent à peine modifiés ; la mâcle ou la staurotide dans des schistes argileux. La production du mica dans les roches n'est pas plus difficile à comprendre

que celle de l'apophyllite du béton de Plombières, qui est aussi un silicate fluorifère.

Un groupe de sou thermales peut produir métamorphis dans tout un pa

Qu'une dislocation vienne à faire naître un groupe de sources thermales, n'est-il pas probable que la plupart des terrains traversés par ces sources subiront une action, dont ce qui s'est passé à Plombières donne une idée? Cette action s'étendant de proche en proche avec l'aide du temps, occasionnerait le métamorphisme sur des zones d'une assez grande étendue.

Action latei du métamorphis

A Plombières, avant que la vallée en s'échancrant donnât issue aux sources, l'eau thermale arrivait déjà de la profondeur (1), et si elle paraissait à la surface, ce n'était sans doute que par une sorte de transsudation peu apparente. En s'épanchant dans les couches inférieures du grès bigarré qui sont en contact avec le granite, elle y déposait du jaspe, du quartz cristallisé et divers autres produits. Ainsi des eaux circulant à l'intérieur peuvent causer une action métamorphique très-énergique, sans que leur existence se trahisse à la surface par des sources thermales. Il est probable que dans bien des cas, la silicification des polypiers et des bois de certaines couches, la précipitation du quartz cristallisé dans d'autres, tel que celui qu'on trouve dans le bassin tertiaire de Paris, la silicification complète de quelques couches primitivement calcaires (2), n'ont pas une autre origine.

Il a suffi d'une eau tiède et à peine minéralisée pour transformer cette maçonnerie et y faire naître des si-

(1) Voir le mémoire sur Plombières cité plus haut (*Annales des mines*, 5e série, t. XIII, p. 232, et *Bulletin de la société géologique de France*, 2e série, t. XVI, p. 562.

(2) Comme les couches de muschelkalk silicifié qui bordent la faille limite des Vosges, à Orschwiller et Truttenhausen. Daubrée. *Description géologique du Bas-Rhin*, p. 325 et 326.

licates hydratés et cristallisés. Les effets ne seraient-ils pas bien plus considérables encore si l'eau, fortement suréchauffée et cependant retenue par la pression des masses supérieures, circulait lentement à travers certaines roches, comme elle le fait dans le béton de Plombières et réagissait sur elles avec la haute température qui convient à la formation des silicates anhydres?

CHAPITRE VIII.

AUTRES PARTICULARITÉS DU MÉTAMORPHISME EXPLIQUÉES A L'AIDE DES FAITS MENTIONNÉS DANS LES CHAPITRES IV ET VI.

...chement ...sultats ...ériences ...données ...niens ...bières.

En rapprochant les résultats obtenus par les expériences dans l'eau suréchauffée, des données acquises par l'examen des phénomènes contemporains de Plombières, on peut expliquer la majeure partie des faits du métamorphisme; je n'ajouterai que quelques exemples à ceux dont j'ai parlé plus haut.

...xène ...phibole ...ans ...lcaires ...daires. ...ux variés ...Somma.

Tel est le développement bien connu du pyroxène et de l'amphibole dans les calcaires secondaires des îles Hébrides ou des Pyrénées. Je mentionnerai aussi la production déjà citée de minéraux si variés dans les blocs de calcaire de la Somma, dont les géodes sont incrustées de diopside, de mica et d'autres substances.

...ppement ...ldspath ...l'autres ...ches.

Un des phénomènes fréquents dans les roches métamorphiques, c'est le développement du feldspath dans leur masse. Parmi les nombreux faits de ce genre, je rappelerai les terrains schisteux qui avoisinent le granite (Bretagne, Saxe, etc.) et même les masses schisteuses près desquelles on n'aperçoit aucune roche éruptive (Taunus, Ardennes, etc.). Dans le terrain carbonifère des Vosges, à Thann, par exemple, des couches bien régulières de grauwake, sont parsemées de cristaux de feldspath qui se sont isolés d'une pâte pétrosiliceuse; les nombreux végétaux fossiles que renferme

la roche empêchent, d'ailleurs de la considérer comme un porphyre. Des calcaires du massif du Mont-Blanc signalés déjà par M. Brochant, et que M. Brongniart a nommés *calciphyre feldspathique*, offrent des particularités analogues. On ne doit d'ailleurs pas perdre de vue, qu'ici comme dans d'autres cas du même genre, le calcaire, en se modifiant ainsi, n'a pas toujours échangé sa compacité primitive contre l'état cristallin.

Association de silicates hydr à des silicat anhydres.

Parmi les associations si fréquentes des silicates anhydres aux silicates hydratés, je me bornerai à rappeler les roches chloritiques qui forment la gangue de la tourmaline, de l'amphibole, du pyroxène, etc. Les cristaux de feldspath adulaire qui sont pénétrés de chlorite (Pfitsch en Tyrol), quelquefois même de stilbite (Sella ou Saint-Gothard) apprennent que les silicates anhydres ont pu même quelquefois cristalliser après les silicates hydratés (1).

Isolement du quartz dans les roc silicatées.

Dans les roches silicatées le quartz s'est isolé sous des formes très-variées. Les roches granitiques et certains porphyres le renferment en grains ou en cristaux isolés. Dans les roches schisteuses, il est tantôt sous forme de veines ou de lames très-minces, logées entre les feuillets, d'une régularité d'épaisseur et de parallélisme surprenante, comme dans les micaschistes, schistes chloritiques et talqueux, leptinites, phyllades, etc., tantôt sous forme de veines qui coupent nettement les feuillets, tout en se rattachant à eux. Quelquefois enfin le quartz constitue des masses con-

Quartz en feuillet Quartz gren

(1) Bien que la chlorite n'ait pas encore été imitée, on peut croire, d'après ses analogies chimiques avec les zéolithes, aussi bien que par sa fréquence dans des terrains qui n'ont subi qu'un commencement de modification, comme les terrains schisteux des Ardennes, qu'elle a pu se former à une température assez peu élevée.

sidérables à l'état grenu, telles que les roches (itacolumites) qui, au Brésil, sont associées à l'or et au diamant.

Dans la plupart de ces cas, le quartz paraît être un produit de la décomposition de silicates, de même que dans mes expériences où il se produit de diverses manières. Ainsi le quartz qui, sous tant de formes, fait partie des roches éruptives et des roches métamorphiques, doit être considéré, tout aussi bien que celui des filons, comme un témoin de la voie humide (1).

On peut conclure de ce qui se passe dans les expériences d'eau suréchauffée, comme de l'exemple des calcaires si chargés de minéraux, qui ont été rejetés des profondeurs de la Somma, que la température et la pression paraissent indispensables à la production d'un métamorphisme énergique. D'un autre côté, un métamorphisme intense s'est développé quelquefois près de la surface, comme au Brésil, où les schistes cristallins et gemmifères s'étendent sur plus de 1200 kilomètres de longueur. Il semble y avoir contradiction entre ces deux faits. Toutefois, lorsque de l'eau suréchauffée est poussée des profondeurs vers la surface à travers la substance ou les fissures à peine ouvertes d'une roche, il faut bien remarquer que les lois de la pression hydrostatique ne lui sont pas applicables, comme elles le seraient à de l'eau remontant librement dans une crevasse. On comprend facilement que dans le premier cas sa pression, et par conséquent sa température, puissent se conserver, en quelque sorte comme en vases clos, jusqu'à quelques mètres de la surface.

Il est donc possible que beaucoup d'actions, telles que la cristallisation du granite, celle de certains amas

(1) Mes expériences confirment ainsi pleinement les vues que MM. Schafhäutl et Bischof avaient émis sur ce sujet.

stannifères qui renferment les mêmes minéraux que les roches du Brésil, aient eu lieu sous pression, bien qu'à une très-faible profondeur.

Il a même quelquefoi été plus pronc près de la sur que dans la profonde

Il est probable que certains minéraux, par exemple les silicates anhydres, ne se produisent facilement dans l'eau qu'à des températures déterminées. Une chaleur trop élevée, aussi bien qu'un manque de chaleur, nuit à leur formation. D'ailleurs l'expérience semble nous faire voir que les feldspaths tantôt se produisent, tantôt se détruisent dans l'eau, selon les températures. C'est probablement parce que dans certaines régions des Alpes, telles que les Grisons, les parties supérieures présentaient seules la température convenable que le métamorphisme et les minéraux variés qui sont en quelque sorte ses témoins, s'y sont produits, plutôt que dans les couches situées plus bas et dont on peut suivre la coupe dans d'immenses déchirures (1). Ce fait serait analogue à la condensation dans les couches superficielles des montagnes volcaniques et des laves, du sel ammoniac, de divers chlorures, du soufre et du fer oligiste; ou à l'enrichissement bien connu de nombreux filons dans leur région supérieure.

Résumé des avantag de la voie hum sur la voie s pour l'explica de la format des roches silicat

En résumé, quand il s'agit d'expliquer l'origine et la formation des silicates dans la plupart des roches, ce n'est pas à la voie sèche, mais bien à la voie hydrothermale qu'il faut recourir le plus souvent. Cette assertion s'appuie sur les considérations qui suivent :

1° Températ moins élevé

1° La formation par voie humide a lieu à des températures incomparablement plus basses que le point de fusion; c'est une condition dont on a précédemment reconnu la nécessité.

(1) Ce fait, qui résulte d'observations inédites et anciennes de M. Élie de Beaumont, a été signalé récemment aussi par sir Roderick Murchison.

lations éraux nent ués.

2° Les silicates hydratés qui se montrent dans la nature souvent associés à des silicates anhydres se forment facilement, par la voie humide, comme on l'a vu, en même temps que ces derniers (zéolithes avec pyroxène, schiste chloritique avec tourmaline et feldspath, etc.) ; leur formation s'explique difficilement par la voie sèche.

dance artz.

3° Le quartz est excessivement abondant dans la nature. Or, dès que l'eau suréchauffée est en contact avec un grand nombre de silicates, solubles ou insolubles, nous voyons une partie de la silice s'isoler et devenir un véritable quartz cristallin, qui ne ressemble en rien au verre produit par la fusion du quartz.

On se rappelle en effet que la silice, soit fondue, soit obtenue par la décomposition des silicates, n'a aucune des propriétés du quartz; qu'elle n'est ni aussi dense, ni aussi réfringente, ni aussi dure, ni aussi réfractaire aux réactifs alcalins (1). Il est possible que cette différence de propriétés soit la cause de la décomposition facile des silicates vitreux : les menstrues en attaquent la silice sous sa modification soluble; puis, sans qu'il soit besoin peut-être que les circonstances changent, ils la précipitent sous la modification correspondant au quartz insoluble, ne servant alors, pour ainsi dire, qu'à faire passer la silice, par une sorte d'évolution continue, d'un état moléculaire à l'état moléculaire opposé (2)

ude trement éraux.

4° Enfin au lieu de masses uniformes, comme la

(1) M. Henri Rose a récemment publié un mémoire sur ce sujet. Ueber die verschiedene Zustände der Kieselsaüre. *Pogg. Annalen*, 1859.

(2) L'acide stannique présente quelque chose de semblable, quand on voit l'une de ses modifications (acide stannique proprement dit) passer par la simple action de la chaleur à l'autre état de modification (acide métastannique) et se séparer ainsi de certains dissolvants.

fusion en produit en général, nous voyons dans les produits de la voie humide des mélanges de substances cristallisées différentes, dont le mode d'enchevêtrement est tout à fait indépendant, de même que dans la plupart des roches, de leurs degrés relatifs de fusibilité.

CHAPITRE IX.

APPLICATION DES MÊMES FAITS AUX ROCHES ÉRUPTIVES.

Ressemblan minéralogiq entre les ro éruptives et les roch métamorphiq

Les roches éruptives présentent une grande analogie de composition avec les roches métamorphiques; beaucoup de minéraux sont en effet communs aux unes et aux autres. .

C'est ainsi que les éléments du granite (feldspath, mica et quartz) se trouvent souvent dans les couches qu'il a traversées et où ils sont comme extravasés (1). Quand le granite et la syénite ont empâté des fragments de roches préexistantes, ils se les sont même en quelque sorte assimilés, comme je l'ai montré ailleurs (2). On trouve un exemple non moins remarquable de cette analogie dans les masses de calcaire compact de la Somma, dans l'intérieur desquelles l'amphigène, la sodalite, l'anorthite, ont cristallisé, tout aussi bien que dans les laves qui les avoisinaient. Le calcaire du Kaiserstuhl, avec son fer oxydulé titanifère, son pyrochlore, sa perowskite et son apatite, manifeste bien aussi son lien de parenté avec la roche doléritique qui lui a fourni les principaux éléments de ces minéraux.

Cette analo a servi d'argumen en faveu de l'actio de la voie sè dans le métamorphi

C'est sur cette ressemblance de composition, parfois frappante, qu'on s'est souvent appuyé pour conclure

---

(1) D'après de nombreuses observations de MM. Élie de Beaumont, de la Bèche, Gruner, Naumann et beaucoup d'autres.

(2) Observations sur les métamorphisme. *Annales des mines*, 5e série, t. XII, p. 319.

que les minéraux des roches métamorphiques ont été produits par voie sèche.

onnement oit tourné; firme de la voie ide s roches tives.

Je retournerai le raisonnement en disant que si des composés, tels que le feldspath, le mica, le quartz, l'amphigène, le pyroxène, etc., se rencontrent dans des roches stratifiées, dans des conditions où ils n'ont pu y être formés que par l'intervention de l'eau, on doit regarder comme très-probable que l'eau a agi de la même manière dans la cristallisation des roches éruptives elles-mêmes, conclusion à laquelle nous avons été amenés précédemment par d'autres considérations.

vation é de l'eau s roches tives.

S'il fallait émettre une hypothèse sur cette singulière association de l'eau à des roches éruptives douées d'une haute température, on serait porté à considérer ces masses hydratées comme une solution très-épaisse de silicates, une sorte de fusion aqueuse rendue persistante par la pression.

Quand ces silicates ont cristallisé, leur eau mère, accompagnée de substances variées (1), s'en est dégagée, en conservant parfois une température et une pression assez considérables pour pénétrer dans les roches encaissantes et les modifier profondément. De là résultent peut-être les analogies qui ont été signalées plus haut entre la roche éruptive et la roche traversée.

Ainsi pour résumer et suivre jusqu'au bout le rôle qu'on est amené à attribuer à l'eau dans les roches éruptives, je dirai qu'on peut lui reconnaître trois actions principales qu'elle exerce sous trois états :

1° Arrivant combinée à ces roches dont elle cause, concurremment avec la chaleur, l'état de mollesse;

2° Se dégageant de ces roches, à mesure de leur

(1) Comme les chlorures des laves.

consolidation, traversant et métamorphisant les roches voisines;

3° S'échappant parfois jusqu'à la surface du sol, soit à l'état de vapeur, soit à l'état de sources thermales (1).

L'extravasen de certain minéraux dans les mas encaissant n'est qu'apparen

Remarquons toutefois que l'extravasement de minéraux tout formés, dont j'ai parlé plus haut, n'est sans doute qu'une apparence, et que le feldspath ou le mica qui avoisine le granite s'est plus probablement formé sur place en empruntant, aussi bien qu'à Plombières, une partie de ses éléments au milieu dans lequel il se développait.

Vicissitude du pyroxèn

C'est ici le lieu de dire en deux mots la singulière destinée du pyroxène. Les cristaux de pyroxène si fréquemment disséminés dans les laves avaient été autrefois considérés comme détachés d'une roche préexistante, et pour mieux exprimer l'idée déjà émise par Dolomieu, qu'ils n'ont pas été formés dans les roches volcaniques qui les renferment, mais qu'ils y ont été simplement empâtés, Haüy donna au pyroxène son nom dans le sens d'*étranger au feu* (2). Plus tard on a reconnu qu'il avait, au contraire, cristallisé dans les laves, surtout depuis les expériences de MM. Berthier et Mitscherlich, et on l'a considéré comme le produit type et exclusif de la voie sèche. N'est-il pas étrange de voir que par sa grande tendance à se former dans l'eau suréchauffée, ce soit lui qui paraisse aujourd'hui

---

(1) Ce sont là ces sources dont les filons métallifères et d'autres dépôts voisins des roches éruptives attestent fréquemment l'existence. Elles ont dû, avec le temps, diminuer de température et de volume et ont fini par se tarir, quand les masses d'où elles naissaient sont arrivées à leur dernier état de consolidation et de refroidissement.

(2) « Le nom de pyroxène avertit que les cristaux des laves ne sont pas dans leur lieu natal. » *Minéralogie de Haüy*, 1re édition, t. III, p. 90.

le premier parmi les produits les mieux caractérisés de cette nouvelle voie?

ruption de nes roches ître causée par onnement.

Ajoutons encore que l'eau a pu avoir son influence, même dans les actions mécaniques des roches éruptives. En effet, dans la relation de mes expériences, j'ai insisté à dessein sur l'augmentation de volume qu'a pris le verre transformé en zéolithe par l'action de l'eau, pour en conclure, d'une manière extrêmement probable, qu'au moment de leur hydratation, certaines roches ont dû éprouver un phénomène de foisonnement, analogue à celui dont on a de nombreux exemples naturels lors du changement de l'anhydrite en gypse. Ce foisonnement a dû suffire, dans bien des cas, à donner naissance à la poussée et à l'éruption des roches; ce serait particulièrement le cas des phonolithes et des basaltes.

CHAPITRE XI.

MÉTAMORPHISME DE STRUCTURE; SES RELATIONS AVEC LE MÉTAMORPHISME ORDINAIRE.

Nous avons vu dans la première et dans la deuxième partie de ce travail que la structure schisteuse paraît être un effet de pressions et glissements subis par les couches sous l'action de forces énergiques.

uvelles ériences production structure isteuse mpression.

Des expériences que j'ai entreprises sur ce sujet avant d'avoir connaissance de celles de M. Tyndall, mais que j'ai faites par d'autres procédés et sur une plus grande échelle, confirment cette manière de voir.

océdés ployés.

J'ai utilisé pour cela des moyens de compression puissants, non-seulement des cylindres lamineurs, mais des presses à balanciers mues par la vapeur qui servent dans la fabrication de la casserie, pour emboutir la tôle sous forme d'ustensiles variés. Tous ces modes de compression graduelle ou par chocs ont été successivement em-

ployés. La matière sur laquelle j'ai principalement agi était de l'argile amenée à un état particulier de dessiccation (1).

Deux conditi nécessaire

L'argile soumise à ces divers procédés de compression peut acquérir une structure schisteuse très-prononcée (2); mais pour cela, outre la pression, deux conditions sont indispensables.

1° Il fau qu'il y a glissemen expérien qui le pro

1° Il faut que la substance puisse éprouver des glissements et s'étendre par un commencement de laminage; alors les feuillets se développent parallèlement au glissement, c'est-à-dire normalement à la pression.

On n'obtient aucun résultat si le corps ne peut pas céder et se déformer dans le sens perpendiculaire à la pression. Un morceau d'argile de forme cylindrique, enchâssé exactement dans un anneau en fonte, de même forme et de même dimension, a été très-fortement comprimé par un piston de même calibre. La substance a acquis une forte consistance, mais sans montrer aucun indice de feuillets, ni même de clivage. Je répète que cela n'a lieu qu'autant que la masse de terre s'emboîte exactement dans son enveloppe rigide; autrement il s'opère des déformations et par suite un feuilleté.

2° La ma comprim doit être d d'un degré parti de plastic

2° La masse que l'on comprime doit être douée d'un degré particulier de plasticité. Trop sèche, elle se brise; trop molle, elle se lamine, sans que les feuillets puissent s'isoler. Des échantillons de la même argile, mais à des états de dessiccation différents, soumis simultanément à la compression, fournissent des couches su-

(1) Ces expériences ont eu lieu à l'usine de MM. Karcher et Westermann à Ars-sur-Moselle. Je me suis surtout servi de l'argile réfractaire de Villy-en-Trode (Aube) qui provient du terrain néocomien et des marnes grises supraliasiques.

(2) Certaines tuiles obtenues par un procédé particulier de moulage qu'on employe à Épinal prennent souvent aussi un commencement de structure feuilletée.

perposées, les unes à structure schisteuse, les autres à cassure irrégulière, dont le contraste est très-significatif.

...s laitiers ...oment ...leur ...fication.

J'ai également cherché à produire, par les mêmes procédés, la structure schisteuse dans les silicates, au moment où ils passent de l'état de fusion à l'état solide. Des laitiers de hauts-fourneaux à fer, que j'ai soumis à la pression, pendant qu'ils étaient encore pâteux, ne sont pas devenus schisteux. La cassure de la masse refroidie montrait seulement des veines diversement colorées et alignées normalement à la pression.

...assage ...structure ...isteuse ...à la ...re massive ...es roches ...ique par ...ériences.

Ce que j'ai dit plus haut de l'influence du degré de plasticité sur la formation des feuillets fait comprendre les transitions fréquentes que l'on observe dans un même massif de roches partiellement schisteuses. C'est ainsi, pour n'en citer qu'un exemple, que le porphyre de Mairus, près de Deville, dans les Ardennes, devient graduellement schisteux.

...istosité verre ...ifestée ...r les ...riences ...ites ...s l'eau ...hauffée.

C'est ici le lieu de rappeler comment le verre acquiert une schistosité très-remarquable, par des causes toutes différentes de celles dont nous venons de parler. En même temps que le tube de verre transformé par l'eau suréchauffée se gonfle considérablement, il prend cette structure schisteuse d'une manière très-prononcée. Les feuillets dans lesquels il se clive facilement sont si minces qu'on peut quelquefois en distinguer plus de dix dans un millimètre d'épaisseur (1). Quand le verre est incomplétement attaqué, le centre, quoique vitreux encore, montre aussi des zones très-fines, comme les agates-onyx. Le tout rappelle la manière d'être de certaines roches schisteuses et cristallines.

---

(1) Parfois ils se détachent aussi nettement les uns des autres que les feuilles d'un cahier de papier à lettres.

La schistosité qu'acquièrent les tubes de verre est un effet évident du mode de fabrication, qui a imprimé à la masse une structure par couches superposées. C'est une sorte d'hétérogénéité, qui peut être décélée à l'aide de l'action subtile de la lumière polarisée, mais qui, pour l'œil nu, est primitivement cachée dans une apparente homogénéité. Elle apparaît quand l'eau, par une action inégale, a dessiné les zones de nature différente, et mieux encore, après que la substance, déjà modifiée en partie, a subi un retrait. Ces feuillets sont, en effet, beaucoup plus prononcés dans certains tubes que dans d'autres. Preuve manifeste d'un fait dont on trouverait divers exemples dans l'industrie (1), et qui montre comment la disposition primitive des matériaux constitutifs d'une roche, quoique ayant disparu par des actions ultérieures, peut cependant s'y trouver encore à l'état latent, et se révéler dès que des influences nouvelles la mettent au jour (2).

Un phénomène accompagne presque toujours la structure schisteuse dans les roches cristallines; c'est le parallélisme remarquable que présente une partie de leurs éléments cristallisés (3). Ceux qui ont la forme de

En quoi con le parallélis des élémei cristallin

(1) On sait par exemple que dans le façonnage des pièces de terre à porcelaine, l'ébaucheur au tour et le mouleur doivent apporter une grande attention pour produire une pression *égale* sur toutes les parties de la pièce qu'ils exécutent. De très-faibles inégalités de compression, d'abord complétement insensibles, se trahissent après la cuisson par une foule d'irrégularités dont certaines sont connues sous le nom de *vissage*. Brongniart. *Arts céramiques*, t. I, p. 123.

La fabrication des miroirs chinois à images paraît reposer sur un principe du même genre.

(2) Des expériences que j'ai exécutées récemment font ressortir la structure schisteuse dans un métal aussi peu disposé, ce semble, à l'acquérir que le laiton.

(3) Tous les minéraux des roches schisteuses ne présentent pas cet alignement : ainsi les mâcles ne sont pas en général

paillettes, quelle qu'en soit la nature, mica, chlorite, talc, graphite ou fer oligiste, sont disposés à plat, suivant les plans des feuillets; quelquefois même ils y présentent une sorte d'alignement que l'on a nommé *parallélisme linéaire*, comme s'il y avait eu étirement. Les schistes chloritiques, micacés, talqueux offrent les exemples les mieux caractérisés de ce phénomène.

inéraux illettes nsidérés e cause structure lletée.

C'est même à ces paillettes, qui étaient supposées prendre une disposition dans des plans parallèles, sous l'influence d'actions calorifiques ou magnétiques, qu'on a souvent attribué, avec sir John Herschel (1), la cause de la structure feuilletée. M. Sorby a cherché à confirmer cette influence des paillettes par une expérience qui consiste à laminer une masse pâteuse qui en renferme.

Je ne saurais partager cette manière de voir, et je pense que l'alignement des paillettes, au lieu d'être la cause, n'est au contraire que la conséquence de la préexistence des feuillets.

Je m'appuie pour cela sur quatre motifs principaux:

1° La structure feuilletée s'est quelquefois développée dans la nature et je l'ai vu se produire parfaitement dans l'expérience précédemment citée, en l'absence de toute espèce de paillettes;

ructure illetée réexistait t a, ntraire, usé ignement.

2° Des cristaux qui sont loin d'avoir la forme de lamelles, comme le grenat, le fer oxydulé, présentent cependant un alignement très-régulier;

3° J'ai reconnu, dans des expériences semblables à celles de M. Sorby, que les paillettes ont bien une tendance à venir se ranger graduellement dans le sens du

---

orientées parallèlement aux feuillets des phyllades dont elles font partie.

(1) Lyell. *Manuel de géologie*, 1857, t. II, p. 447.

mouvement déterminé par la pression, de manière à ce que le frottement dû au glissement soit le moindre possible. Cependant leur alignement est très-imparfait en comparaison de celui de la nature, souvent si remarquable par sa régularité, et celles de ces paillettes qui ne parviennent pas à se ranger dans le plan général paraissent contrarier la formation des feuillets;

4° Un procédé m'a donné des résultats presque identiques à ceux de la nature; il consiste à imprégner, avant de la soumettre au laminage, de l'argile avec de l'eau chauffée à 100 degrés et saturée d'acide borique; puis de la laminer sur une plaque de fonte échauffée par un foyer, de façon à éviter que l'acide ne se précipite avant la formation des feuillets. Or dans cette expérience les paillettes d'acide borique qui prennent naissance entre les feuillets, par le refroidissement ultérieur du liquide, présentent un alignement infiniment plus régulier que dans celle de M. Sorby, et tout à fait comparable à celui de certains schistes micacés (1).

En rapprochant les faits que nous venons de citer des données qu'a fournies le métamorphisme de Plombières, nous arrivons à une conséquence de la plus grande probabilité. Si les matériaux, béton ou briques, dans lesquels pénètre l'eau de Plombières avaient une structure feuilletée, n'est-il pas évident que le mode de circulation de l'eau en serait influencé, et que les veines liquides en s'insinuant de préférence entre les feuillets, donneraient naissance, sur leur passage, à des cristaux en lamelles ou autres, sensiblement alignés? Conséquen

Dans le cas où le métamorphisme n'aurait eu lieu

(1) Je ne prétends pas dire toutefois que dans certains cas, le laminage n'ait pas continué après l'alignement des paillettes dans les roches; on peut même se convaincre du contraire en examinant diverses roches schiteuses cristallines.

que par une eau de constitution, on comprend encore que les cristaux se soient développés en profitant des plans de clivage de la masse.

La disposition papyracée, si surprenante par sa régularité, que présente le quartz dans certains leptinites et porphyres a pu avoir une origine analogue, puisque, comme nous l'avons vu, l'eau intervient aussi dans la cristallisation des roches éruptives.

CHAPITRE XII.

RAPPROCHEMENTS DE TOUS LES PHÉNOMÈNES DONT LE SIÈGE EST DANS LA PROFONDEUR.

illes erses ales.

Si les sources thermales sont des agents du métamorphisme, il ne faut pas s'étonner qu'un même mode de métamorphisme s'étende sur des régions considérables, puisque nous voyons encore aujourd'hui les eaux minérales se grouper par familles de composition analogue, dans des régions de grandes étendues; ainsi elles sont généralement carbonatées dans l'Auvergne et dans l'Eifel, sulfureuses dans les Pyrénées (1), etc.

illes épôts ifères.

On rencontre ces analogies plus caractérisées encore dans les gîtes métallifères qui paraissent être aussi un produit d'origine semblable, et, bien que la plupart d'entre eux présentent de nombreuses espèces minérales, souvent même distribuées d'une manière très-inégale dans les diverses parties d'un même filon, la nature des gangues, aussi bien que celle des métaux qu'il est possible d'y exploiter utilement, montre que

(1) M. Longchamp a remarqué depuis longtemps que sur toute la longueur de cette chaîne de montagnes qui dépasse 360 kilomètres, il y a plus de cent cinquante sources, toutes de même nature, et ne différant que dans des limites fort étroites par la proportion de leurs éléments. Mémoire lu à l'Académie des sciences, 12 août 1833.

généralement ils se groupent par système. Ces systèmes embrassent quelquefois des régions entières, surtout dans les continents dont la structure géologique n'est pas morcelée comme celle de l'Europe occidentale (exemples les groupes argentifères du Mexique, les grandes bandes aurifères des Alleghanys et du Brésil, la zone stannifère de la Malaisie).

Familles de volcans avec leurs tremblements de terre.

Le même fait est bien connu pour les volcans; s'il en est d'isolés, la plupart constituent des *séries*, comme M. de Buch l'a depuis longtemps signalé, quand il les compare à des soupiraux ayant pris naissance sur une même grande faille. Quant aux tremblements de terre, nous ne les mentionnerons que pour les rattacher aux volcans auxquels ils semblent si intimement liés.

Leur étendue comparée à celle des zônes métamorphiques.

Les familles de sources thermales, de filons métallifères, de volcans, avec leurs tremblements de terre, occupent des étendues tout à fait comparables à celles que nous avons reconnues au métamorphisme régional, et dont le siége occupe des contrées entières.

Relation des phénomènes métamorphiques avec les dislocations.

De même que toutes ces familles, les terrains métamorphiques (1) sont confinés exclusivement dans les régions disloquées.

D'une part, en effet, les terrains stratifiés les plus anciens de la Russie et de la Suède méridionale, comme ceux de l'Amérique du Nord, qui ont conservé leur horizontalité première, ne sont pas sensiblement transformés. D'autre part des terrains récents, mais fortement accidentés dans leur stratification, tels que les couches jurassiques et crétacées des Alpes, des Montagnes Apuennes et de la Toscane ont été au contraire complétement modifiées, lors même qu'on n'y rencontre que peu de masses éruptives. Les phyllades ne

(1) Au moins ceux qui sont postérieurs au terrain silurien.

sont que le premier terme de transformations plus profondes; aussi ne se trouvent-ils jamais en dehors de zones autrefois plus ou moins disloquées.

de cause. Il est donc difficile de ne pas voir dans les diverses espèces de phénomènes dont je viens de parler les manifestations d'un même agent, dont le siége s'étend sous des pays entiers. Cet agent essentiel, c'est l'eau aidée de la chaleur à divers degrés, à laquelle se joignent, comme causes secondaires, les émanations qui l'accompagnent.

Pour les volcans la chose est évidente; pour les filons métallifères, il ne peut plus guère exister de doute, surtout après le travail de M. Élie de Beaumont et les expériences de M. de Sénarmont, et pour ce qui est du métamorphisme, nous croyons notre assertion devenue extrêmement probable.

Ainsi, nous pensons que l'eau agit sans cesse dans les régions profondes, après y avoir acquis des températures plus ou moins élevées, sous l'influence de la chaleur du globe. Son action est sur certains points *patente*, accusée qu'elle est par des volcans, des tremblements de terre, des soffionis, des sources thermales qui débouchent à la surface; sur d'autres points, *latente*, quand des sources thermales animées d'un mouvement ascensionnel se perdent dans l'épaisseur des couches, ou quand l'eau de constitution seule des roches vient réagir sur elles et en produire le métamorphisme. Telle est la pensée qui m'a dicté l'épigraphe inscrite en tête de ce mémoire.

APPENDICE.

CONSIDÉRATIONS SUR LA FORMATION DES ROCHES SCHISTEUSES QUI ONT PRÉCÉDÉ LA PÉRIODE SILURIENNE.

Les schist cristallins an se séparei souvent très-nettem du terrain silu

Au-dessous des terrains siluriens, on ne connaît jusqu'à présent que des roches éminemment cristallines. En général, le passage est graduel des unes aux autres; mais quelquefois la ligne de démarcation est tout à fait tranchée, comme en Suède, en Finlande et aux États-Unis. Ainsi les couches les plus anciennes (grès de Postdam), que présente cette dernière région du globe, n'ont subi aucune modification, et reposent horizontalement sur les terrains azoïques à feuillets verticaux (1).

Motifs qui ont fa considéré les terrai les plus anci comme métamorphiq

Des effets de l'action métamorphique se montrent, comme nous l'avons vu, dans les terrains de divers âges. Toutefois ce sont les couches les plus anciennes qui accusent le plus fortement cette action. La cause qui l'a produite paraît donc s'être affaiblie avec le temps et avoir possédé vraisemblablement avant la période silurienne une énergie considérable, c'est-à-dire qu'elle se montrait plus près de la surface. Aussi comprend-on que beaucoup de géologues aient cru voir dans ces couches antésiluriennes les premières couches sédimentaires, mais qui auraient subi un métamorphisme.

Grande anal de compositi avec les terrains métamorphiq

Cette supposition est appuyée par la grande ressemblance de ces roches anciennes avec celles des terrains stratifiés, dont l'origine métamorphique n'est pas mise en doute. Comme dans ces derniers, on trouve au milieu du gneiss qui constitue la plus grande partie des

(1) Foster et Whitney. Aperçu de l'ensemble du terrain silurien du Lac supérieur. (*Bulletin de la société géologique de France*, 2e série, t. VIII, p. 89.

terrains qui nous occupent, des calcaires, des dolomies, des schistes amphiboliques, des quarzites, des roches pétrosiliceuses (hälleflinta des Suédois), des amas de minerais métalliques, que souvent on ne peut distinguer de ceux qu'on rencontre dans les couches supérieures. Cette ressemblance est si frappante pour les calcaires, en raison des minéraux qu'ils contiennent et de leur mode d'association, que l'on pourrait, par exemple, facilement confondre les calcaires cristallins à spinelle et chondrodite, subordonnés au gneiss de Pargas en Finlande ou du Canada, avec ceux de Monzoni en Tyrol et de la Somma qui appartiennent à des terrains comparativement récents.

'estiges rbonneux. Comme autre trait d'analogie, il faut signaler encore le graphite ou les combinaisons charbonneuses que l'on rencontre dans ces plus anciens terrains (1) (graphite de Sainte-Marie-aux-Mines, anthracite de Kongsberg en Norwége ou de Dannemora, où il est dans un calcaire gris à peine cristallin, bitume des filons de granite de Finbo, près Fahlun, et de nombreux gîtes de fer de la Suède).

hypothèse. D'autres géologues, au contraire, frappés de la liaison intime qui existe entre le granite et ces gneiss ont considéré ces derniers comme n'étant qu'un granite devenu schisteux par un étirement.

S'il en était ainsi, il faudrait nécessairement conclure que certaines masses de calcaire, de quartzite, de fer oxydulé et d'autres minerais métalliques préexistaient dans le granite, qu'elles y ont été ramollies en même

(1) Tant que la synthèse qui a déjà amené à des résultats si remarquables entre les mains de M. Berthelot n'aura pas imité les anthracites de Suède sans le secours de plantes, on doit croire que ces combustibles sont d'origine végétale, et par conséquent que les plantes existaient lorsque les gneiss qui renferment de ces dépôts se sont formés.

temps que lui, de façon à pouvoir être étirées simultanément et prendre ainsi la forme de plaques parallèles aux feuillets de gneiss, imitant la stratification d'une manière frappante. C'est là une supposition bien difficile à admettre.

Il y a encore à faire sur ce sujet deux remarques importantes :

Les roches azoïques avaient acquis leur état cristallin antérieurement au dépôt du terrain silurien.

1° L'absence de transition des roches schisteuses azoïques au terrain silurien montre que les premières roches avaient déjà acquis leur état cristallin, antérieurement au dépôt des plus anciennes roches fossilifères connues. Ce fait est d'ailleurs confirmé par les galets de gneiss bien caractérisé que renferment quelquefois les terrains de transition.

Dans beaucoup de contrées elles n'ont jamais été recouvertes par une grande épaisseur d'autres terrains.

2° Il n'y a pas d'apparence que ces mêmes roches anciennes aient jamais été, dans certaines contrées, recouvertes par une épaisseur considérable d'autres roches; autrement il faudrait admettre, et l'on n'est pas en droit de le faire, que des pays étendus et faiblement ondulés, comme la Scandinavie ou le Canada, ont subi des dénudations énormes.

Ces roches forment un revêtement presque universel sur le granite.

Des terrains comme ceux que nous venons de prendre pour exemple en Suède et aux États-Unis, se rencontrent d'ailleurs dans toutes les régions du globe avec des caractères analogues; ils forment une sorte de revêtement presque universel sur le granite.

Action de l'eau sur le globe quand elle a commencé à se constituer à l'état liquide.

En supposant la masse des mers répandue en vapeur dans l'atmosphère, la pression à la surface du globe devait monter au moins à 250 fois ce qu'elle est aujourd'hui (1), et même plus haut, à raison de l'intervention des gaz et des autres vapeurs. Il n'a donc pu

(1) En admettant, avec M. Humboldt, une profondeur moyenne de l'Océan de 3,500 mètres, on aurait pour la couche

exister d'eau liquide sûr la terre, avant que la température de sa surface se fût abaissée au-dessous du degré de chaleur qui peut donner à la vapeur d'eau une tension de 250 atmosphères. La surface du globe était donc à cette époque à une température très-élevée, et s'il existait des silicates à la surface du globe, ils avaient dû s'y former par voie sèche.

Plus tard, quand l'eau eut commencé à se constituer à l'état liquide, elle dut réagir sur ces silicates préexistants et donner ainsi naissance à toute une série de produits nouveaux. Par une véritable action métamorphique, l'eau de cet océan primitif fit d'abord disparaître la structure propre aux masses fondues en les pénétrant, et forma ensuite, de même que dans nos tubes, des minéraux cristallisés au moyen des principes mêmes qu'elle parvenait à dissoudre. Ces matières, formées ou suspendues au sein du liquide, devaient se précipiter sur son fond, avec des caractères variables dans le dépôt, à mesure que la chaleur du liquide diminuait.

...ation ...nite ...s ...isteuses ...ines.

Ces diverses périodes de décomposition et de recomposition chimique où intervient la voie humide dans ces conditions extrêmes qui touchent à la voie sèche, sont-elles l'ère de la formation du granite et des roches schisteuses tout à fait azoïques et cristallines? On ne peut pas l'affirmer d'une manière absolue, mais on doit le présumer, surtout si l'on considère que, dans cette hypothèse, il s'est formé deux séries de produits, les uns tout massifs, les autres présentant des indices de sédimentation, et qui se lient l'un à l'autre d'une ma-

---

d'eau répartie uniformément à la surface du globe une épaisseur de 2,563 mètres, ce qui correspond à une pression de de 248, soit, en nombres ronds, de 250 atmosphères.

nière insensible : c'est en effet ce qui existe dans la nature pour le granite et le gneiss.

Enfin, pour terminer, je remarquerai que s'il y a eu un moment où les roches étaient exclusivement sous l'empire de la voie sèche, elles sont passées sous le régime de la voie humide à une époque bien plus reculée qu'on ne l'avait admis jusqu'à présent.

Pourquoi les aérolith manquent-el de granite

On ne trouverait peut-être pas aujourd'hui sur le globe de roches auxquelles on puisse assigner, en toute certitude, une formation due exclusivement à la voie sèche, sans aucun concours de l'eau. Cependant il est un exemple qui nous montre ce que pourraient être de semblables roches, et il nous est fourni par les aérolithes. Ces corps, en effet, n'offrent dans leur constitution essentielle ni eau, ni combinaison hydratée. N'est-il pas singulier que, formés de silicates des mêmes bases que ceux de notre globe, ils n'aient jamais présenté ni quartz, ni mica, ni granite, mais des corps que l'on ne rencontre pas dans l'écorce terrestre, tels que le fer métallique, des phosphures et des carbures métalliques. L'existence de ces corps paraît protester contre toute présence de l'eau. N'est-ce pas là un nouveau motif, quoique tiré d'un peu loin à la vérité, pour croire à l'impuissance de la chaleur seule à produire le granite ?

La structu schisteus est très-fréqu dans ces pl anciens terr

Dans l'hypothèse que nous venons d'indiquer, les premiers dépôts de la mer seraient restés longtemps dans un état de mollesse, éminemment favorable à la production de la structure schisteuse.

Elle a causé une compres latérale comparab aux refoulem qui ont plus produit les chaîne de montagn

Les feuillets de ces roches, aussi bien que ceux des terrains métamorphiques moins anciens, ont en général une position voisine de la verticale, même en dehors des chaînes de montagnes, dans des contrées comme la Suède, le Limousin, la Moravie, dont le relief

ne présente rien de particulier. D'après ce que nous avons dit plus haut sur la production de la structure feuilletée, les pressions latérales auxquelles elle paraît devoir son origine, auraient agi à peu près horizontalement. Elles étaient donc probablement de même nature que le refoulement, qui a donné lieu ultérieurement, dans les terrains stratifiés plus solides, à ces ploiements et contournements divers caractéristiques des chaînes de montagnes.

Ainsi, de même que la structure nerveuse du fer annonce les actions mécaniques qu'il a subies, de même ces plus anciens terrains paraissent déjà témoigner de la force de contraction qui a produit plus tard les chaînes de montagnes. Cette force s'est peut-être bornée dans ces premières époques à produire la schistosité des couches, en même temps qu'en raison même de leur état de mollesse, elle augmentait leur épaisseur par refoulement, en les ondulant à peine.

idissement des us profondes u globe accusé es terrains ns anciens, omme l'ensemble hénomènes norphiques.

Quoi qu'il en soit des hypothèses auxquelles on se laisse facilement entraîner, et tout en reconnaissant qu'elles n'ont pas encore de fondements suffisamment solides, on a le droit de croire que les gneiss anciens accusent la température élevée de la surface du globe dans ces périodes reculées. La production si universelle de roches cristallines dans ces terrains fondamentaux, concourt avec tout l'ensemble des phénomènes métamorphiques à faire admettre un refroidissement général dans les parties profondes du globe. C'est un argument des plus positifs à opposer aux partisans exagérés des causes actuelles, qui veulent, avec Hutton, que l'origine de notre planète se perde dans la nuit d'une période indéfinie, pendant laquelle les phénomènes géologiques n'auraient cessé de tourner dans le même cercle.

Bien que ces questions soient encore fort obscures, nous entrevoyons une grande simplicité d'actions qui a donné lieu à une grande diversité d'effets, et les productions immédiates d'une mer suréchauffée, la cristallisation des roches éruptives, le métamorphisme des couches stratifiées, ne paraissent pour ainsi dire que les modes divers d'un même phénomène à des âges différents.

Unité dans les causes du métamorphisme, des roches éruptives et des dépôts de la mer primitive.

Du reste, des conclusions moins vagues doivent être ajournées à l'époque, peu éloignée peut-être, où l'on arrivera à produire artificiellement le granite. L'expérience synthétique a déjà été fort utile depuis Hall, et c'est à elle qu'il paraît appartenir encore de jeter un rayon de lumière décisif sur une formation où l'observation directe n'a sans doute plus guère à apprendre.

La formation des roches granitoïdes paraît devoir être éclaircie par l'expérience synthétique, plus que par l'observation directe.

Si l'expérimentation, armée de ses procédés les plus ingénieux, a été nécessaire pour nous conduire à l'intelligence des phénomènes les plus rapprochés de nous, et dont nous sommes témoins à chaque instant, tels que la pesanteur de l'air, la foudre, etc., combien, à plus forte raison, ne devrons-nous pas être forcés d'y recourir, quand il s'agit des faits géologiques, dont les plus importants ne se répètent plus de nos jours, du moins sous nos yeux, et ont laissé pour témoin unique un résultat final, ne conservant plus aucune trace des actions intermédiaires qui l'ont produit.

Avenir probable de l'expérimentation dans l'étude des phénomènes géologiques de tout ordre.

Jusqu'à la fin du siècle dernier, la géologie avait été tout à fait hypothétique; elle est entrée alors dans une voie positive, basée sur l'observation des faits et l'induction. Elle paraît aborder depuis peu une nouvelle période où elle s'éclairera dans ses phénomènes de tout ordre, chimiques, physiques et mécaniques,

par l'expérimentation synthétique, subissant ainsi les phases que la physique a traversées pour arriver, depuis Galilée, au point où nous la voyons aujourd'hui.

MÉMOIRE

SUR LA MÉTALLURGIE DU ZINC DANS LA HAUTE SILÉSIE (PRUSSE).

Par M. JULIEN, ingénieur des mines.

La haute Silésie offre un très-vaste champ d'études, soit minéralogiques ou géologiques, soit métallurgiques; son sol renferme en abondance et en même temps qu'un très-riche bassin houiller, des minerais de diverses natures; les minerais de fer, les calamines et les galènes y sont particulièrement l'objet d'exploitations importantes; aussi existe-t-il à Tarnowitz, Königshütte, Kattowitz, Zabrze, etc., un grand nombre d'usines à fer, à plomb et à zinc. Ces dernières surtout offrent un intérêt particulier à cause de leur nombre relativement restreint en Europe; c'est de leur étude que je me suis principalement occupé pendant mon séjour dans cette contrée, et leur description fera l'objet de ce mémoire.

La métallurgie du zinc a, dans ces dernières années, pris une très-grande importance en haute Silésie; un très-grand nombre d'usines ont été construites sous l'impulsion de sociétés puissantes, parmi lesquelles je citerai la compagnie Silésienne, fondée en 1853, et aujourd'hui l'une des plus importantes. En 1857, le nombre total des usines à zinc existant dans cette partie de la Prusse était de quarante-sept (une usine royale, Lydogniahütte, et quarante-six particulières). Leur production totale a été pendant cette même année de 31.480 tonnes de zinc fondu (rohzink), représentant une valeur de 17.660.000 francs environ (statistique de

M. de Carnall Oberberghauptmann). Mais malgré cet énorme accroissement dans le nombre et l'importance des usines, on peut dire qu'aucun progrès sensible n'a été réalisé dans le traitement métallurgique; on a varié un peu la disposition des fours, augmenté le nombre des cornues, mais plutôt en vue d'accroître la production absolue du zinc que d'apporter une amélioration véritable. Il est du reste résulté des nombres obtenus dans plusieurs essais que le meilleur four, celui qui donne le meilleur rendement, est encore le double four à vingt moufles, tel qu'il existait il y a vingt ans, tel que l'a décrit en grand détail M. Callon, dans un mémoire inséré dans les *Annales des Mines*, 1840, 3e série, tome 17. Supposant donc connues les dispositions principales du four silésien, je me bornerai à une description succincte des fours et des opérations, dirigée surtout de manière à me permettre d'indiquer quelques petites améliorations de détail, et je m'attacherai plus spécialement :

1° A l'exposé des données numériques que j'ai pu recueillir en assez grand nombre, et de l'étude desquelles ressortent quelques remarques générales assez importantes;

2° A l'examen des divers changements essayés et des raisons qui les ont fait rejeter;

3° Enfin, à la comparaison aussi complète que possible de la méthode silésienne et des autres méthodes, comparaison faite d'abord en général, indépendamment des circonstances locales, et en second lieu en faisant la part de ces circonstances.

Ce travail se trouvera ainsi naturellement divisé en quatre chapitres que je ferai précéder d'une sorte d'introduction ayant pour but de donner une idée générale de l'ensemble du pays, et de faire connaître la nature

des minerais ainsi que leur mode de transport aux usines.

Considérations générales

Les environs de Beuthen, où se trouvent les principales mines de calamine, et ceux de Königshütte, où ont été construites la plupart des usines, afin de diminuer les frais de transport du combustible, sont occupés par des alluvions tertiaires recouvrant la formation du muschelkalk, et formant de vastes plaines; aussi les communications sont-elles très-faciles. Cependant l'industrie du fer et du zinc a pris dans ce pays une telle importance que le mode ordinaire de transport est depuis longtemps insuffisant, et que l'on a dû recourir à un chemin de fer reliant les principales mines aux usines. Dans le principe, ce chemin fut construit à voie étroite ($0^m,82$ d'axe en axe), et il fut exploité à l'aide de chevaux. Mais l'activité toujours croissante conduisit bientôt à remplacer ces derniers par des machines. On regretta alors vivement la faible largeur de la voie; les machines furent d'un prix relativement élevé, et l'on ne parvint qu'à l'aide de dispositions très-ingénieuses à leur donner une force suffisante; mais elles font aujourd'hui un bon service. Ce chemin de fer s'étend depuis Tarnowitz jusqu'à Kattowitz, et sur ce parcours de 25 kilomètres environ donne un grand nombre de ramifications allant rejoindre les principales mines, telles que Scharley, Theresiagrube, etc. Ce mode de transport offre certainement des avantages sur le mode ordinaire, mais cependant la différence n'est pas aussi grande qu'on pourrait le supposer au premier abord. Il ne faut pas oublier, en effet, que les routes sont à peu près horizontales et qu'un attelage de deux chevaux peut alors traîner un poids assez considérable (1); le four-

(1) La ligne de faîte séparant le bassin de l'Oder de celui de la Vistule passe entre Beuthen et Königshütte, mais ne produit qu'une élévation insignifiante.

rage est à un prix excessivement bas, ainsi que la main-d'œuvre; d'un autre côté, le chemin de fer est à voie étroite, il fait un grand nombre de détours qui le rendent plus long que la route ordinaire; enfin la distance totale à parcourir est assez faible; celle de Scharleygrube à Königshütte, par exemple, n'excède pas 8 kil. Quoi qu'il en soit, toutes les usines aujourd'hui, excepté l'usine royale Lydogniahütte, se servent de ce mode de transport pour leurs approvisionnements. Chacune d'elles construit à cet effet de petites ramifications se reliant d'un côté avec le chemin commun, et se terminant de l'autre par des estacades facilitant le déchargement. Toutes les usines sans exception font venir leur minerai non grillé, et cela par des raisons que nous verrons bientôt. Je ne citerai que pour mémoire, et pour n'y plus revenir, un petit atelier de grillage construit comme essai près de Theresiagrube par la compagnie Silésienne, et exclusivement pour l'espèce de minerai appelée *erdgalmei*. Cet atelier se compose de deux fours à réverbère à double sole, et de deux fours à cuve; ces deux derniers sont hors feu depuis longtemps, mais les premiers étaient en activité lors de ma visite; cinq ouvriers étaient employés à ce grillage En douze heures on grille trois charges de 36 à 40 quintaux métriques chacune, et on consomme environ 11 kil. 600 de houille par quintal de minerai. On n'emploie que de la houille menue coûtant 6 silberg. la tonne, pesant 3 zt. $\frac{1}{2}$ ou $0^f,42$ le quintal. En ajoutant à cette dépense les frais de main-d'œuvre et d'entretien, on trouve que le grillage coûte $0^f,13$ le zt. (centner) de minerai grillé, ou $0^f,25$ le quintal. Le minerai perd en eau et acide carbonique 30 à 34 p. 100 de son poids; il faut râbler souvent pour renouveler les surfaces, et avoir grand soin de ne pas trop élever la température et de laisser l'air arriver

sur la grille en quantité suffisante; sans cela, il y aurait réduction de l'oxyde et volatilisation d'une partie du zinc.

Nature des minerais

Les minerais exploités aux environs de Beuthen sont presque exclusivement formés de calamine ou carbonate de zinc, toujours mélangée avec une grande quantité de fer; on y trouve en outre du silicate de zinc, du plomb, du cadmium, du soufre venant de la blende, mais toujours en quantité très-faible; ces minerais sont aussi quelquefois un peu manganésifères, mais plus rarement. Leur teneur en zinc est très-variable : elle peut aller jusqu'à 35 p. 100, mais elle atteint rarement ce chiffre, et on peut regarder 21 à 22 p. 100 comme une teneur moyenne. Pour pouvoir être traité avec avantage aux usines, un minerai doit d'ailleurs tenir au moins 12 p. 100 de zinc, mais on extrait des minerais beaucoup plus pauvres, et on les enrichit par une préparation mécanique. Si l'on classe alors d'une part les minerais assez riches pour pouvoir être traités tels qu'ils sortent de la mine, et d'autre part ceux que donne la préparation mécanique, il en résulte pour l'ensemble cinq sortes de minerais auxquelles on a donné les noms suivants.

Classification des minerais

1° *Stückgalmei*, ou morceaux assez riches pour pouvoir être traités tels qu'ils sortent de la mine;

2° *Waschgalmei*, morceaux assez gros qui sont restés sur le crible à secousses;

3° *Grabengalmei*, provenant du traitement des parties qui ont traversé le crible, mais sont restées dans la cuve inférieure;

4° *Schlammgraben*, partie riche des dépôts formés dans les labyrinthes;

5° *Erdgalmei*, sorte de terre décomposée, de teneur très-variable, pouvant cependant aller jusqu'à 25 ou

30 p. 100, et qu'on ne peut pas enrichir par une préparation mécanique, tout étant entraîné par l'action d'un courant d'eau.

Nature combustible. Le combustible dont on dispose est une houille maigre, brûlant sans flamme et ne formant pas de mâchefer; les puits d'extraction se trouvent le plus souvent à une très-faible distance de l'usine. Nous verrons plus loin quelles sont, pour la métallurgie du zinc, les conséquences forcées de l'emploi de cette houille.

CHAPITRE PREMIER.

DESCRIPTION DES FOURS ET DES OPÉRATIONS.

Désignation des usines que ais décrire. Pendant mon séjour en haute Silésie, j'ai visité un grand nombre des 47 usines à zinc de ce district. Toutes se ressemblent, non-seulement dans leurs parties principales, mais encore jusque dans leurs détails, et il m'aurait par suite suffi d'en voir une complétement pour me faire une idée exacte de toutes les autres. Cependant j'ai cru préférable d'en étudier deux simultanément, et les deux usines que j'ai choisies sont : l'une l'usine royale Lydogniahütte, à Königshütte, et l'autre l'usine Gabor-Silesia, de la compagnie Silésienne, située à Lippine, à 45 minutes de Königshütte, sur la route de Zabrze (1). La première de ces deux usines est une des plus anciennes, sinon la plus ancienne du district; la seconde, au contraire, était encore en construction

(1) Cette seconde usine occupe six bâtiments voisins, auxquels, pour les distinguer, on a donné les noms de Silésia 1, 2, 3 et Gabor 1, 2, 3. La compagnie possède en outre cinq autres usines : Paulshütte, Thurzohütte, Friedenshütte, Stanislaushütte et Carlshütte, que je n'ai visitées qu'en partie, mais pour lesquelles j'ai pu recueillir des données numériques, la direction générale étant à Lippine.

lors de ma visite. J'aurai donc là un moyen facile de comparaison qui me permettra, comme je le disais en commençant, de faire ressortir les améliorations de détail, tout en me bornant à une description succincte.

Description des fours.

Descripti de la hal et des accessoire

Toute usine silésienne se compose d'un certain nombre de fours, toujours disposés par groupes de deux, et réunis en plus ou moins grand nombre, selon l'importance de l'usine, sous une grande halle fermée de toutes parts, les murs étant seulement percés des ouvertures indispensables pour donner le jour à l'intérieur et permettre l'entrée des matières premières, minerai et combustible, et l'enlèvement des résidus des cornues après la distillation. Le toit de ces halles est toujours ouvert à la partie supérieure et sur toute la longueur, afin de permettre la sortie de la fumée qui, comme nous le verrons bientôt, se dégage des fours dans la halle elle-même. On joint enfin à cette halle des constructions accessoires placées ordinairement sur l'une des faces latérales et destinées à la fabrication des moufles, aux magasins d'argile, de zinc fabriqué, etc.

A Königshütte, les dimensions sont trop restreintes, et surtout le toit est trop surbaissé; le sol de l'usine est très-irrégulier, c'est le sol naturel; le combustible et le minerai sont amenés à l'intérieur par des manœuvres au moyen de brouettes.

A Lippine, au contraire, les halles, au moins celles de construction récente, sont beaucoup plus spacieuses, les murs latéraux sont plus élevés, et les faces du toit sont très-inclinées, de manière à assurer un tirage énergique; elles sont pavées à l'aide de blocs de grès que l'on place avec soin, de manière que la circulation

et les transports intérieurs soient aussi faciles que possible. Enfin, au point de vue économique, une amélioration importante est la construction à l'intérieur et de chaque côté des lignes de fours, d'un chemin de fer permettant aux wagons de la mine d'entrer sous les halles, de manière que le charbon chargé à l'orifice même du puits peut arriver directement jusqu'au pied du fourneau où il doit être employé.

truction fours.

Pour établir les fours, on construit tout d'abord en contre-bas du sol de la halle un conduit voûté régnant sur toute la longueur et auquel viennent se raccorder des voûtes transversales en nombre variable ; tantôt il y en a une pour chaque grille, tantôt il y en a une seulement pour chaque massif de deux fours, et dans ce cas elle se trouve au-dessous du passage existant entre deux massifs successifs ; la première disposition est employée à Lippine, et la seconde à Lydogniahütte. On a soin de ménager dans la voûte longitudinale une ouverture correspondant à chaque foyer, et l'on élève progressivement la maçonnerie ordinaire qui forme le massif inférieur du four. A une certaine hauteur, on place les plaques de fonte à nervure *ll* (*fig.* 4 et 6, Pl. VII), destinées à soutenir la grille, et l'on continue jusqu'à la hauteur des banquettes *ab*, *cd* (*fig.* 3 et 6), sur lesquelles coulera le zinc, en ayant soin de laisser la place nécessaire pour un revêtement en briques réfractaires à l'intérieur du foyer. On élève un peu plus les murs des extrémités et l'on met en place les cadres en fonte destinés à supporter les portes des foyers. Cela fait, on laisse sécher quelques jours. On continue ensuite en plaçant les plaques de fonte munies d'un rebord *ab*, *cd*, et en élevant les petits murs destinés à former les cases *aba'b'*, *cde*, en ménageant, toutefois, les ouvertures *rr* (*fig.* 2), dans lesquelles aboutiront les extrémités

des allonges. On élève de même la sole jusqu'à sa hauteur définitive en l'inclinant un peu vers l'extérieur, et l'on place sur chacune des faces la plaque de fonte *fg* régnant sur toute la longueur et recouvrant les cases *aba'b'*, *cde*. On fait en même temps les fours de grillage *h* (*fig.* 2), le four à cuire les moufles *k* et le petit fourneau pour la refonte, en ménageant dans les murs de séparation des ouvreaux pratiqués au niveau de la sole et obliques vers l'extérieur. Ces ouvreaux communiquent, en outre, avec un conduit rectangulaire vertical pratiqué dans l'épaisseur de la maçonnerie et se continuant à l'extérieur par une cheminée haute de 50 à 60 centimètres. Tous ces fours sont en briques ordinaires, à l'exception du revêtement des murs de séparation à l'intérieur du four de réduction, et sont fermés à l'aide de portes en tôle. Ces accessoires terminés, on s'occupe d'achever le four de réduction proprement dit : pour cela, on fait d'abord le foyer ; on met en place les barreaux de la grille et l'on construit le revêtement en briques réfractaires, puis on dispose les petits murs de séparation *nn*..... faits d'avance avec la même pâte réfractaire qui sert à fabriquer les moufles ; on les fixe en ayant soin d'enduire leur face inférieure de mortier, et leur face extérieure sera ultérieurement recouverte d'une plaque de fonte destinée à les garantir contre les chocs ; on construit alors les voûtes cylindriques reposant sur ces petits murs et destinées à fermer la partie supérieure des embrasures. On scelle ensuite comme précédemment sur le prolongement des murs *nn*..... des plaques *n'n'*..... ayant la même hauteur et la même épaisseur, mais un peu moins larges ; on monte sur de petits murs provisoires les arcs en bois destinés à soutenir la grande voûte, on les recouvre de planches pour avoir une surface continue, et l'on met ensuite en place

les bâtis en bois de chacune des petites voûtes se raccordant d'un côté avec la partie déjà construite, et de l'autre avec le cintre en bois; on fait alors sur cette surface complexe et d'une seule fois, la grande voûte et les petites voûtes secondaires, ce qui permet de les raccorder très-facilement. On a soin de ménager dans la voûte longitudinale, au-dessus d'un certain nombre d'embrasures, des ouvertures pour déterminer le tirage nécessaire. Ce nombre est d'ailleurs variable; jamais il n'y en a plus de huit, même pour les fours à dix embrasures, celles du milieu n'en ayant pas à cause de leur proximité du foyer; quelquefois même, il n'y en a qu'aux embrasures extrêmes. Pendant la marche, les embrasures sont fermées à l'aide de portes composées simplement d'un cadre en fer plat soutenant un treillage en fil de fer que l'on recouvre complétement d'argile; au centre existe une petite porte en tôle que l'on peut ouvrir ou fermer à volonté de manière à régler la distillation. La *fig.* 7 représente une de ces portes, en supposant enlevé le treillage en fil de fer. Il reste enfin à consolider ce four au moyen d'armatures transversales et longitudinales. Les figures indiquent suffisamment leur disposition sans qu'il soit nécessaire d'insister davantage.

Comme on peut le voir par tout ce qui précède, on a cherché avant tout à avoir une construction économique. Ainsi pour le massif du four, on se contente d'élever en briques les parements extérieurs et les contours des diverses ouvertures, puis on coule à l'intérieur une sorte de béton très-épais formé de morceaux de briques concassées et de ciment ordinaire; on termine cependant à la partie supérieure par un pavage soigné qui constitue la sole. Tout l'intérieur du four est en briques ordinaires, à l'exception du pourtour du foyer, mais la partie comprise entre l'extrémité antérieure des moufles

et la plaque de fonte *fg* est en briques blanches faites avec beaucoup de soin; sans cela l'action journalière des râbles les casserait en très-peu de temps. De même pour la voûte, on a voulu ne pas être obligé de recourir à des briques de différents modèles qui sont toujours d'un prix très-élevé; on obtient ainsi une construction moins solide, il est vrai, que celle employée en Belgique, mais qui suffit cependant, puisque la voûte n'a qu'à se soutenir elle-même.

Les différentes parties de ce four ont du reste une durée très-différente; souvent il faut remplacer le foyer au bout d'un an; la voûte dure ordinairement deux ou trois ans, et on n'a que très-rarement besoin de refaire le four tout entier.

Je terminerai cette description générale du four silésien en indiquant la consistance des usines dont je m'occupe et par une énumération succincte du nombre de fours qu'elles renferment, ce qui me permettra de la compléter par quelques remarques particulières à chacune de ces usines.

Lydogniahütte se compose actuellement de 24 fours (1) tous à 20 moufles, à l'exception d'un four d'essai ayant 24 moufles (8 embrasures contenant chacune 3 moufles). Au début de sa construction, cette usine possédait seulement 16 fours, mais plus tard on en a ajouté 8, 4 à chaque extrémité, 2 sur le prolongement des anciens, et 2 autres placés perpendiculairement. Ils sont en général construits avec peu de soin; les armatures sont trop faibles; les portes des fours de grillage sont

(1) Toutes les fois que j'emploierai le mot four en y joignant un nombre, il s'agira toujours d'un des deux fours du massif et non du massif tout entier. Cette observation était nécessaire pour éviter la confusion.

également trop faibles, se soulèvent à l'aide de contrepoids et ne sont pas suffisamment guidées dans ce mouvement.

L'usine Gabor-Silesia occupe, comme je l'ai dit, six bâtiments; je vais les parcourir successivement :

Gabor 1, autrefois Constantia, est un vieux bâtiment construit depuis quinze ans; il renferme 20 fours à 20 moufles. Ces fours ont leurs faces longitudinales très-courbes et sont munis de faibles armatures comme à Lydogniahütte. On avait donné cette forme afin de pouvoir mettre dans la partie la plus chaude du four des moufles plus longues; mais on y a renoncé, le grave inconvénient d'avoir un grand nombre de modèles différents de moufles n'étant pas compensé par la petite économie de combustible qui pouvait résulter de cette disposition. Pour ce bâtiment seulement, les wagons qui amènent la houille n'entrent pas à l'intérieur.

Gabor 2 renferme 16 fours à 20 moufles, 1 à 24 et 1 à 26 (ce dernier nombre s'obtient en faisant 10 embrasures contenant 3 moufles chacune, excepté les embrasures extrêmes); ces fours sont comme les précédents renflés au milieu et les armatures très-faibles. Ils étaient munis d'une grande cheminée centrale, mais qui ne sert plus, comme nous le verrons plus loin.

Gabor 3 : 4 fours à 20 moufles et 16 à 24. Dans cette halle on commence à trouver des ouvertures pratiquées au centre des embrasures et communiquant à l'aide de conduits en maçonnerie régnant dans toute la hauteur du four, avec les voûtes transversales, et dont l'extrémité inférieure est fermée à l'aide d'une porte pendant la marche. C'est par là que sont extraits les résidus de la distillation, tandis qu'à Lydogniahütte, comme du reste dans la plupart des autres usines, on les fait tom-

ber dans l'intérieur de la halle, d'où ils sont repris par des manœuvres qui les conduisent à l'extérieur. Les *fig.* 4 et 5 donnent une idée très-nette de cette disposition qui se retrouve dans les trois bâtiments qui me restent à parcourir.

Silesia 1 : 2 fours à 30 moufles, 2 à 28 (on réduit le nombre des moufles à 2, seulement dans les deux compartiments opposés aux fours de grillage), et 16 à 24.

Silesia 2 : 20 fours à 20 moufles.

Silesia 3 : Il y a aura également 20 fours à 20 moufles. Le 13 septembre 1858, il y avait 6 fours en marche régulière, 2 ayant commencé à marcher, mais n'ayant pas encore reçu leur charge totale ; 2 au commencement du séchage, et tous les autres en cours d'exécution et à des états d'avancement divers. (La compagnie possède en outre 141 fours répartis comme suit : Paulshütte 31, Thurzohütte 30, Friedenshütte 12, Stanislaüshütte 32 et Carlshütte 36).

Les six halles composant Gabor Silesiahütte ont été construites dans l'ordre où je viens de les énumérer ; aussi comme aspect général les deux premières ressemblent-elles en tout point à l'usine de Lydognia à part le renflement des fours et l'essai des cheminées. Les quatre autres sont plus récentes, et j'appellerai d'une manière toute spéciale l'attention sur la tendance à augmenter tout d'abord le nombre des cornues par four (ainsi Gabor 3 et Silesia 1) pour revenir plus tard, (Silesia 2 et 3) après s'être rendu un compte exact des résultats économiques obtenus au four à 20 moufles.

Ces quatre dernières halles, comparées à celles des anciennes usines, présentent en outre des différences constituant pour la plupart des améliorations que je vais énoncer successivement :

1° On peut remarquer qu'à Lippine les deux fours du milieu sont destinés au grillage, et le four à cuire les moufles est rejeté à l'extrémité dans la partie qu'occupait le four à distiller le cadmium. C'est qu'en effet on ne s'occupe plus aujourd'hui d'extraire ce métal, d'abord parce que le zinc en contient assez peu pour n'être pas aigre au laminage, et en second lieu parce qu'on ne trouve pas de débouchés avantageux dans le commerce.

2° Les murs de séparation des embrasures sont plus minces et ces embrasures elles-mêmes plus étroites; cette disposition, en réduisant les dimensions du four, permet de réaliser une petite économie de combustible.

3° L'emploi des conduits spéciaux pour le déchargement constitue encore une amélioration véritable, de même que l'emploi d'armatures plus fortes; mais la plus importante résulte de l'agrandissement des halles et de l'élévation plus grande donnée aux fours, ce qui diminue notablement la fumée restant à la partie inférieure et rendant si insupportable le séjour dans ces usines.

Avant de m'occuper des opérations métallurgiques proprement dites, il me reste à décrire les appareils spéciaux dans lesquels se fait la distillation, c'est-à-dire les moufles et les allonges, et les instruments nécessaires pour le travail. Je commencerai par ces derniers en les classant par ordre, et je donnerai ensuite quelques détails sur la fabrication des moufles; celle des allonges sera décrite plus tard, ces allonges étant faites par l'ouvrier fondeur pendant que le four est en marche.

Énumération des outils employés.

1° Un marteau ordinaire pour casser les gros morceaux de houille;

1° Outils pour le foy

2° Une pelle plate ordinaire en fer, pour charger le combustible sur la grille; j'ai cru inutile d'en prendre les dimensions;

3° Un grand ringard, dont l'extrémité est évasée et recourbée (*fig.* 8).

2° Outils pour le trav des fours

1°. Une pelle ordinaire pour charger le mélange de minerai et de charbon dans la cuiller qui sert à l'introduire dans les moufles;

2° Cuiller pour le chargement (*fig.* 9); elle se compose d'un manche en fer se terminant à une de ses extrémités par une partie deux fois recourbée qui se fixe au moyen de rivets à la cuiller en tôle mince proprement dite;

3° Grande caisse rectangulaire en bois dans laquelle on effectue le mélange (*fig.* 10); cette caisse est consolidée au moyen de petites lanières de tôle disposées comme le montre la figure. Il y a quatre caisses pareilles pour chaque massif de deux fours;

4° Trois grands ringards pour nettoyer les moufles, deux à pointe et le troisième ayant l'extrémité recourbée (*fig.* 11). Les deux premiers ont $0^m,035$ de diamètre, et l'autre est plus mince : il a seulement $0^m,02$;

5° Une pince très-longue pour enlever et replacer les plaques d'argile destinées à fermer la partie inférieure des moufles (*fig.* 12);

6° Deux ringards recourbés pour nettoyer la petite allonge verticale pendant la marche de l'opération (*fig.* 13);

7° Deux autres petits ringards, l'un terminé par une sorte de spatule, et l'autre recourbé (*fig.* 14);

8° Une grande cuiller destinée à introduire de l'argile au fond des moufles pour les réparer quand cela est possible (*fig.* 15).

Outils la refonte.

1° Moule en fonte ayant les dimensions que montre la *fig.* 16. Il porte sur son fond un relief inscrivant en creux sur les plaques de zinc le nom de l'usine et le numéro du four;

2° Écumoire en fonte pour enlever les crasses qui surnagent au-dessus du bain de zinc fondu (*fig.* 17);

3° Grande cuiller en fonte servant à puiser le zinc pour la coulée (*fig.* 18);

4° Cuiller plus petite servant lorsqu'il ne reste plus qu'une faible quantité de zinc fondu (*fig.* 19);

5° Une pince ordinaire servant à transporter les plaques de zinc lorsqu'elles sont encore chaudes (*fig.* 20);

6° Enfin, pour compléter ce matériel, il faut encore signaler un marteau et un ciseau servant à faire sortir la plaque de zinc du moule et à enlever les bavures.

La chaudière pour la refonte est couverte pendant l'opération d'un petit couvercle (*fig.* 21).

brication moufles.

On emploie pour la fabrication des moufles une terre réfractaire blanche, grasse au toucher, venant de Poremba, en Pologne, à 40 ou 45 kil. de Königshütte. On la réduit en poudre sur une aire plane formée de plaques de fonte à l'aide d'un petit maillet en bois armé de frettes. On ajoute aussi des débris de vieilles cornues dont on a séparé avec soin le mâchefer; on les pulvérise dans des auges en fonte de forme rectangulaire assez profondes; on crible ensuite, mais de manière à obtenir un sable à grains fins plutôt qu'une poussière véritable; des femmes exécutent ce travail. Ce qui passe à travers le crible est humecté seul d'abord, puis on le mélange avec l'argile réfractaire pour faire la pâte des moufles; les proportions adoptées sont deux tiers de cette argile réfractaire et un tiers de débris de moufles. On prépare ainsi à l'avance un assez grande quantité de

pâte. Voici maintenant la série des opérations à lui faire subir pour fabriquer une moufle.

L'ouvrier mouleur a devant lui une petite table sur laquelle il pétrit la pâte et achève de la rendre homogène avant de l'employer. Il commence par faire un prisme plein ayant en longueur et en largeur les dimensions transversales de la moufle, et il l'évide à l'intérieur; il a soin de laisser tout autour une épaisseur assez considérable qu'il diminue ensuite avec la main en achevant de donner la forme convenable. Ce mode d'opérer est excellent : il assure une liaison parfaite entre le fond et les faces de la moufle. Pour continuer, il forme une plaque de pâte en la battant fortement; il la taille ensuite convenablement et l'enlève en la plaçant contre sa poitrine pour la transporter sur la partie de moufle déjà formée; il soude avec soin les parties en contact, auxquelles il a soin de donner une surface irrégulière et achève de lui donner à la main la forme voulue, en rapportant, s'il le faut, de petits morceaux de pâte. Une de ces plaques fait environ le demi-tour d'une moufle, sur une hauteur de $0^m,20$; on fait de même l'autre moitié. Il faut ensuite laisser sécher pendant quelques jours, sans cela la partie inférieure s'affaisserait sous le poids des assises supérieures; l'ouvrier a alors plusieurs moufles en construction, et il a soin de maintenir leurs bords humides à l'aide d'un linge mouillé. Il continue ainsi, en ayant toujours soin de laisser prendre de la consistance après chaque assise de $0^m,20$. Ces moufles, quoique faites à la main sans le secours d'aucun moule, sont déjà très-régulières par la grande habitude qu'a le mouleur; il faut cependant leur donner un dernier poli. L'ouvrier applique pour cela contre la face extérieure une règle plate occupant toute la hauteur et ayant environ $0^m,10$ de large; il la

maintient à l'aide du genou et frappe à l'intérieur avec un petit maillet en bois; il fait ainsi le tour des faces latérales et de la face courbe supérieure. Pour la face inférieure, il importe qu'elle soit parfaitement plane, afin de bien reposer sur la sole du four, condition essentielle à sa durée; l'ouvrier pratique alors la même opération, mais en se servant d'une planche en bois ayant la même hauteur et la même largeur que cette face. Il rapporte ensuite un peu d'argile pour former les appendices a et a' (*fig.* 22) et abandonne la moufle à elle-même pendant quinze jours environ; après ce temps elle est prête à être employée. (Je ne parle pas de la cuisson qui se fait au moment même où on en a besoin, et par les ouvriers mêmes du four; la description de cette opération trouvera naturellement sa place un peu plus tard). La *fig.* 22 montre les dimensions de ces moufles; les plus courtes ont 1^{m},15 et les plus longues, celles destinées à occuper les extrémités où n'existe pas le foyer, 1^{m},45. On a soin de les faire moins hautes et plus étroites à l'extrémité fermée, afin de leur donner plus de résistance, la température en ce point étant très-élevée. La diminution en hauteur est faible, mais elle est très-sensible en largeur, surtout à l'extérieur, ce qui augmente notablement l'épaisseur.

Ce mode de fabrication est préférable à l'emploi de moules; dans ce dernier cas, la pâte se tasse inégalement; il peut rester une très-grande quantité de petits vides imperceptibles par où distillerait le zinc; enfin les différentes assises ne se soudent pas bien entre elles, car on a remarqué dans les fours silésiens employés en Belgique que le plus souvent les moufles se rompaient dans les sections correspondant aux joints des modèles.

On fabrique également dans cet atelier, avec la même pâte et à la main, les petites chaudières pour la refonte;

cette fabrication ne présente rien de particulier, et je n'ai rien à ajouter aux détails qui précèdent.

Description des opérations.

Le four silésien, au point où je l'ai laissé dans la description qui précède, ne peut pas encore servir immédiatement à la distillation. Il doit subir une opération préliminaire, le séchage, opération très-importante, de laquelle dépend en grande partie le plus ou moins de durée de ce four, mais qui ne rentre pas dans le travail manuel; je m'en occuperai tout d'abord.

Séchage d'un four

Lorsque le four est complétement terminé, on l'abandonne plusieurs jours à lui-même; on fait ensuite un peu de feu sur la grille, mais en ne laissant arriver l'air que très-difficilement, de manière à ne produire qu'une faible chaleur; on fixe sur les deux appendices *a* et *a'* des moufles (*fig.* 22) une petite baguette parallélipipédique en terre réfractaire, qui divise l'extrémité ouverte en deux parties, et on les introduit dans le four en protégeant leur extrémité fermée contre l'action directe des flammes à l'aide d'un petit mur provisoire, et on ferme presque complétement toutes les ouvertures latérales. On ajoute peu à peu du combustible en donnant un plus libre accès à l'air, mais toujours très-lentement, car ce n'est qu'au bout de sept à huit jours que le four a atteint la température nécessaire à la volatilisation du zinc; on le dispose alors pour recevoir une première charge. On démolit complétement le petit mur provisoire élevé tout autour du foyer; on bouche à l'aide de briques et d'argile tous les vides existant entre les extrémités antérieures des moufles; on bouche de même, à l'aide d'une plaque d'argile préparée d'avance, la partie inférieure de la moufle; enfin on place les allonges. Chacune d'elles se compose de deux

parties (*fig.* 23); on soude la partie horizontale D par une de ses extrémités dans l'ouverture supérieure de la moufle, et par son extrémité recourbée dans la partie évasée de la petite allonge F, qui repose sur les bords de l'ouverture *r* du four. L'extrémité antérieure H est en outre fermée pendant la marche à l'aide d'une plaque d'argile. Ces dispositions prises, on fait alors une première charge très-faible, puis une deuxième un peu plus forte, et ce n'est qu'à la troisième ou à la quatrième, selon que le four est plus ou moins chaud, qu'on arrive à la charge complète.

Ces détails étant donnés, je vais, pour bien faire comprendre le roulement, d'ailleurs très-simple, d'une usine à zinc, supposer un four en pleine activité et décrire successivement toutes les opérations nécessaires pour le maintenir dans cet état et transformer le zinc obtenu en produit marchand.

Grillage du minerai.

Le minerai transporté comme nous l'avons vu jusqu'à l'extérieur de l'usine est amené à l'intérieur, au moyen de brouettes, par des manœuvres qui le chargent à la pelle dans les fours de grillage *h*. L'ouvrier chargé de ce grillage doit râbler de temps en temps pour renouveler les surfaces; il règle le tirage en ouvrant plus ou moins la porte et en bouchant plus ou moins, à l'aide de briques, les cheminées et les ouvertures existant à la voûte. C'est du reste un travail peu délicat, car il s'agit, non pas de griller véritablement le minerai comme ce mot pourrait le faire croire, mais simplement d'enlever l'eau et l'acide carbonique; aussi cette opération n'est-elle pas indispensable, mais elle procure une grande économie de combustible, et permet en outre d'obtenir un meilleur rendement. Quand le minerai est grillé, on le fait tomber à côté du four où on le laisse jusqu'au moment du chargement dans le

four de distillation, et on apporte une nouvelle charge de minerai cru.

On grille à Lydogniahütte 15 quintaux métriques à la fois, et le grillage dure vingt-quatre heures.

A Lippine, la charge est de beaucoup réduite; on grille à la fois seulement 4 quintaux, mais le grillage ne dure que douze heures, et il y a 2 fours de grillage par chaque massif, ce qui donne toujours environ 15 quintaux en vingt-quatre heures. La perte en poids est ordinairement de 30 à 34 p. 100; il reste donc 10 quintaux de minerai grillé, ce qui suffit pour alimenter les deux fours d'un massif, la charge par moufle étant d'environ 25 kilogrammes. Pour les fours contenant plus de 20 moufles, il faut naturellement augmenter un peu ces proportions; je donnerai du reste au chapitre suivant la quantité exacte de minerai grillé que l'on peut traiter par jour et par fourneau.

Une charge complète est élaborée en vingt-quatre heures; après ce temps, il faut procéder à un nouveau chargement. Mais là se présente une difficulté assez sérieuse; cette opération est longue et pénible pour les ouvriers, principalement à cause de la grande chaleur qu'ils ont à supporter, et il est, pour cette raison, difficile de la faire en une seule fois pour un four tout entier. Deux solutions se présentent alors; ou réunir pour le chargement les ouvriers de deux fours voisins, ou bien charger successivement et après un temps plus ou moins long les deux côtés de chaque four; mais l'une et l'autre présentent des inconvénients. Dans le premier cas, en effet, le fondeur n'est pas le maître de toutes ses opérations, et dans le second, les cornues d'un même four étant, par suite du chargement, à des périodes différentes de la distillation, il est difficile de régler convenablement la température de chacune d'elles. Chargemen

Néanmoins c'est ce dernier mode qui a prévalu, et un ouvrier exercé arrive à faire disparaître presque complétement l'inconvénient signalé en se servant convenablement des ouvertures pratiquées à la voûte longitudinale. Dans les deux usines dont je m'occupe, le premier chargement se fait à six heures du matin, et le deuxième à deux heures du soir, et on s'arrange pour charger en même temps, dans un même massif, les deux côtés en diagonale.

Quelque temps à l'avance, l'aide fondeur prépare dans la caisse prismatique *fig.* 10 le mélange à élaborer. Ce mélange se compose de minerai grillé qui en forme la majeure partie, de l'oxyde de zinc recueilli dans l'opération précédente, des crasses de la refonte, des dépôts de vieilles allonges (voir le chapitre suivant pour les proportions), et enfin d'environ un tiers en volume d'escarbilles de coke tombées des grilles et agissant comme corps réducteur. L'ouvrier a soin de casser les trop gros morceaux de minerai, et de les réduire à la grosseur d'une noix; il recoupe le tout plusieurs fois avec la pelle et remue jusqu'à ce qu'il juge le mélange assez homogène.

Pour effectuer le chargement, on enlève les portes fermant les embrasures et on débouche l'extrémité des allonges. Le maître fondeur et son aide, munis le premier du ringard *a* et le second du ringard *b* *fig.* 15, font tomber le zinc liquide et l'oxyde de zinc restés soit dans la partie horizontale soit dans la partie verticale de l'allonge; ils enlèvent ensuite les plaques d'argile fermant l'ouverture inférieure des moufles et procèdent au nettoyage; le fondeur détache la masse à l'aide du ringard à pointe *fig.* 11, et l'aide amène cette masse à l'extérieur en la faisant tomber, soit à côté du four comme à Lydognia, soit dans des conduits

spéciaux comme aux nouvelles usines de Lippine. Il s'assure également pendant cette opération si toutes les moufles sont en bon état; s'il y en a de fendues ou de trouées (une trop grande quantité de plomb dans le minerai produit toujours un trou), il les répare lorsque cela est possible avec de l'argile qu'il bat fortement avec un ringard à spatule et qu'il saupoudre de sable réfractaire. Si la moufle est complétement hors de service, il l'enlève mais ne la remplacera que plus tard; lorsqu'il y a des allonges cassées, il les remplace toujours de suite. Enfin il s'occupe de reboucher les moufles; il emploie pour cela de petites plaques faites d'avance dont il recouvre les bords d'argile fraîche et qu'il applique fortement contre l'ouverture. Ces opérations préliminaires durent quinze minutes environ; vient alors le chargement proprement dit. L'aide emplit la cuiller *fig.* 9, et le fondeur qui la tient constamment à la main l'introduit dans la moufle à travers l'allonge et la retourne de manière à renverser ce qu'elle contient; il faut en moyenne 20 de ces cuillers ou 25 kilogrammes pour remplir une moufle. Souvent l'ouvrier ajoute pendant le chargement une petite quantité de houille dans la caisse lorsqu'il juge qu'il n'y a pas assez d'escarbilles; d'autres fois le maître fondeur ajoute cette petite quantité de houille dans chaque moufle au-dessus de la charge; on voit d'après cela qu'on ne s'attache pas à des proportions rigoureuses et qu'on laisse beaucoup à l'appréciation de l'ouvrier; cette opération dure vingt-cinq minutes environ. Quand elle est terminée, l'aide, tenant une certaine quantité d'argile molle à la main, s'occupe à réparer les petits murs placés à l'extrémité antérieure des moufles, en lançant très-adroitement une petite quantité de cette argile là où il remarque un trou; pendant ce temps, le maître fondeur

bouche l'extrémité antérieure des allonges comme pour la partie inférieure des moufles, et il ne reste plus qu'à replacer les portes qu'on lute avec soin et qu'on répare toujours au moyen d'argile ordinaire; ces dernières opérations durent quinze minutes environ, soit une heure pour le chargement total. Très-peu de temps après le chargement le zinc commence à distiller; il tombe alors en partie sur les plaques de fonte *ab* où il se rassemble, et l'autre partie s'oxyde, ce qui cause une perte notable. Des manœuvres spéciaux amènent le combustible, enlèvent les résidus et piquent de temps en temps les grilles en parcourant le conduit voûté inférieur; ils recueillent également les escarbilles.

Pendant l'opération, l'ouvrier doit entretenir le feu sur la grille, déboucher de temps en temps les allonges à l'aide du petit ringard recourbé *b* (*fig.* 13), et surtout surveiller la distillation. Quant une moufle donne trop d'oxyde de zinc, il doit diminuer sa température en ouvrant la petite porte en tôle placée au milieu de l'embrasure et bouchant plus ou moins l'ouverture correspondante pratiquée à la voûte. Si au contraire la température est trop faible, il tient la porte fermée, débouche complétement l'ouverture de la voûte, et même au besoin élève au-dessus, à l'aide de briques, une sorte de cheminée qui active le tirage. Mais, somme toute, cette surveillance ne l'occupe que peu de temps, et il peut effectuer d'autres opérations, savoir : 1° le grillage, 2° la refonte, 3° la fabrication des allonges et des plaques d'argile, 4° la cuisson et le remplacement des moufles ; il s'occupe également à séparer avec un marteau les morceaux riches en zinc qui se trouvent dans les vieilles allonges et le dépôt adhérent aux moufles cassées, en mettant à part les morceaux de moufle.

Les premiers sont rechargés avec le minerai, et les seconds, réduits en poudre, entrent, comme nous l'avons vu, pour un tiers dans le mélange destiné à la fabrication des moufles. Le grillage ayant déjà été décrit, je m'occuperai des trois dernières opérations.

Refonte.

Le zinc sort des moufles goutte à goutte et prend, par suite, des formes très-irrégulières; il est en outre mélangé avec une assez grande quantité d'oxyde qui prend naissance par la combustion inévitable du zinc à l'extrémité des allonges. (Cet oxyde est un peu jaunâtre, à cause de l'oxyde de cadmium qui, du reste, se forme surtout au début.) Il faut donc une opération complémentaire pour lui donner la forme d'un produit marchand; on lui fait subir une refonte qui a, en outre, pour but de le débarrasser en partie du plomb qu'il peut contenir et qui lui enlève beaucoup de sa valeur, surtout pour le laminage. Autrefois, cette refonte se faisait dans des chaudières en fonte; mais on a dû y renoncer, car elles étaient rongées très-vite, et le zinc perdait de sa pureté; on les a remplacées par des chaudières en terre réfractaire chauffées par les flammes perdues. La seule difficulté de cette opération est d'éviter une trop grande élévation de température, car les points de fusion et de volatilisation du zinc sont très-voisins. Quand le bain est liquide, l'ouvrier enlève les crasses qui surnagent à l'aide de l'écumoire en fonte (*fig.* 17); ces crasses, appelées *zinkasche*, sont mises de côté et rechargées dans les moufles. L'ouvrier coule ensuite le zinc en plaques à l'aide du moule indiqué (*fig.* 16); elles pèsent en moyenne 12 à 15 kil., et sont mises de côté jusqu'au moment de la pesée. Le plomb que contenait le zinc reste en partie au fond; on ne l'enlève qu'après un certain nombre de coulées, car il est en proportion très-faible.

Le zinc ainsi refondu présente en moyenne la composition suivante :

Zinc	97,56
Cadmium	1,00
Plomb	0,20
Arsenic	0,84
Soufre	0,05
	99,55

Il renferme, en outre, des traces d'étain, de fer et de carbone, et le plus souvent la proportion de plomb va jusqu'à 1 p. 100.

Fabrication des allonges et des plaques d'argile.

Les allonges n'ayant pas à supporter une très-forte chaleur sont en argile ordinaire. L'ouvrier, pour les faire, prend une certaine quantité d'argile délayée dans l'eau et formant une pâte assez dure; il la roule sur le sol de l'usine et la bat fortement; cela fait, il place dessus et vers le milieu de la plaque ainsi formée le manchon B (*fig.* 23), et relève successivement les deux côtés contre le moule en les soudant ensemble aussi bien que possible. Il s'est arrangé pour que le prisme ainsi obtenu soit plus long que le moule; il le rompt de *a* en *b* suivant l'arête supérieure, et relève les deux côtés en courbant légèrement les arêtes *bc*, *b'c'* vers l'intérieur; il forme ensuite une plaque d'argile qu'il applique contre *bc*, *b'c'*, en la soudant suivant ces deux arêtes et suivant *cc'*; il fait de même pour *aa'*. Après avoir uni convenablement les arêtes, il dépose le tout sur le sol de l'usine, et quand l'allonge a pris assez de consistance, il enlève le moule, coupe l'extrémité, comme le montre E, et la place sur le bord du four, où elle achève de se sécher et subit la cuisson nécessaire.

Il fait de même à la main la partie verticale de l'al-

longe que l'on soude à la première et qui est représentée par F, même *fig.*

Je n'insiste pas sur la fabrication des plaques d'argile, il suffit d'avoir indiqué qu'elles étaient faites d'avance et cuites comme les allonges.

Cuisson et remplacement des moufles. La cuisson des moufles s'effectue par le fondeur dans le four *k*, seulement au fur et à mesure des besoins. Il commence à placer la moufle de manière que la moitié environ soit en dehors du four, et il a soin de mettre de petites tuiles devant les ouvertures latérales, afin que la flamme ne puisse pas la frapper directement; il l'avance ensuite peu à peu, mais très-lentement, et place sur les appendices *a* et *a'* un petit rectangle de terre réfractaire, et lorsque la moufle est complétement à l'intérieur, il ferme la porte et la laisse atteindre la température rouge. Plusieurs ouvriers se réunissent alors pour la transporter de suite dans le four de réduction en la soutenant à l'aide de râbles, et la mettent en place avec précaution. Le maître fondeur replace de suite la porte fermant l'embrasure, afin que l'allonge voisine ne s'obstrue pas, et c'est seulement à travers la petite porte en tôle qu'il construit, à l'aide des râbles *a* et *b* (*fig.* 14), le mur existant à la partie antérieure des moufles. Il ferme ensuite l'ouverture inférieure de la moufle, comme nous l'avons vu, soude les allonges et abandonne le tout jusqu'au prochain chargement. L'ensemble de ces opérations dure vingt minutes environ; il faut, pour aller vite, une certaine habitude de les faire, puisqu'on ne peut travailler qu'avec les extrémités de deux ringards.

CHAPITRE II.

DONNÉES NUMÉRIQUES.

Administration générale.

Quelques indications sur l'administration générale me paraissent ici indispensables afin de bien faire comprendre comment la direction supérieure peut savoir exactement tout ce qui se passe à chaque fourneau; comment elle peut recueillir tous les nombres nécessaires pour suivre et diriger la marche de l'usine, et dont l'étude judicieuse peut seule conduire à des améliorations.

Lydogniahütte.

Lydogniahütte est une usine royale ne se composant que d'un seul bâtiment; il y a pour la diriger un *Obermeister* et un *Zinkmeistergehilfer* aidés d'un certain nombre de contre-maîtres qui restent toujours dans le bâtiment des fours. Le Zinkmeistergehilfer a son bureau à l'usine; il assiste aux pesées et rend compte à l'Obermeister de tout ce qui s'est fait. Ce dernier transmet tous ses comptes et ses observations personnelles au directeur général de toutes les usines à Königshütte qui les envoie au ministère.

Compagnie Silésienne.

Pour la compagnie Silésienne, une organisation plus complexe est rendue nécessaire par l'importance considérable de cette compagnie. Fondée en 1853, elle possédait alors seulement Paulshütte et Thurzohütte, et avait en fermage Justinia, Stanislaüs et Friedenshütte; elle n'avait aucune mine de houille et payait naturellement fort cher le combustible dont elle avait besoin; mais elle a beaucoup acquis depuis. Elle pospossède actuellement trois mines de houille, Königsaül et Mathildgrube à Königshütte et Frangrube à Zabrze, et plusieurs mines de calamine; Theresiagrube, la moitié de Scharley, de Wilhelmine et de Marie et le quart

d'Acpfelgrube ; aussi réalise-t-elle d'assez beaux bénéfices.

Il y a à Breslau un directeur général. Il fait au conseil d'administration des rapports périodiques et est responsable vis-à-vis de ce conseil. Il a à sa disposition un bureau de vente et tous les fonds nécessaires à l'exploitation.

En haute Silésie, il y a : un inspecteur des mines, un inspecteur des usines et un inspecteur de la comptabilité.

L'inspecteur des mines a sous sa direction, à chaque mine, un *Obersteiger* et plusieurs *Steiger*. Ces derniers descendent journellement dans la partie de la mine qu'ils doivent surveiller, et communiquent leurs observations à l'Obersteiger qui les réunit et tient toutes les notes de comptabilité; ces notes sont visées par l'inspecteur des mines et envoyées à l'inspecteur de la comptabilité.

De même à chaque usine, il y a un *Hüttenmeister* avec plusieurs *Zinkmeister*. Tous les jours on fait pour chaque four les pesées de charbon, de minerai, de zinc, etc.; les notes de ces pesées sont recueillies par les Zinkmeister et remises par le Hüttenmeister à l'inspecteur des mines qui les vise et les envoie à l'inspecteur de la comptabilité.

L'inspecteur de la comptabilité résume toutes ces notes, fait les statistiques, les comptes généraux, etc., et les envoie à la direction centrale à Breslau. Ces notes de comptabilité sont faites mensuellement; de même tous les mois se tient une conférence à laquelle assistent les trois inspecteurs, et dans laquelle on règle les salaires, on discute sur les améliorations à apporter, etc...

Après ces quelques détails, je résumerai les données

numériques que je dois à l'obligeance extrême de M. l'Obermeister Richter pour Lydogniahütte, et pour les usines de la compagnie Silésienne à M. Sving, Français d'origine, pendant plusieurs années au service de la compagnie, la Vieille-Montagne, et actuellement inspecteur de la comptabilité en haute Silésie. Dans une première partie j'indiquerai d'une manière générale les nombres relatifs à la marche des fours et pouvant représenter la moyenne de toutes les usines du district, et dans la deuxième je calculerai successivement pour les deux usines dont je me suis particulièrement occupé, le prix de revient du quintal de zinc en en faisant autant que possible ressortir les éléments principaux par quelques remarques et des comparaisons.

1re PARTIE (1).

Les ouvriers employés au travail des fours proprement dit sont toujours payés proportionnellement à la quantité de zinc produit; les tarifs varient naturelle-

(1) J'ai cru inutile de mettre en regard des tableaux en mesures françaises, les tableaux en mesures prussiennes; il serait d'ailleurs facile de les reformer à l'aide des rapports suivants pris dans l'*Annuaire du bureau des longitudes* pour 1859, et qui m'ont servi à faire la transformation inverse :

1′ (pied) = $0^m,31385$; 1″ (pouce) = $\frac{1'}{12}$ = $0^m,025$; 1 lb. (livre) = $466^g,702$; 1 zt. (centner) = 110 liv. = $51^k,37$ = 1 thaler = $3^f,75$ et 1 silbergroschen = $\frac{1 \text{ th.}}{30}$ = $0^f,125$.

Quant au combustible, il se mesure au volume; l'unité ou la *tonne* vaut 2 hect. 110 lit.; le poids est naturellement très-variable, et on s'en inquiète très-peu; aussi m'a-t on indiqué cinq ou six valeurs différentes comprises entre 168 et 205 kil. J'ai pris 190 kilog., nombre adopté par M. Callon dans son mémoire (*Annales des mines*, 1840), afin d'avoir des nombres tout à fait comparables.

ment avec la teneur du minerai, et on s'arrange pour que les journées de travail soient en moyenne

De 2f,20 pour le maître fondeur,

Et de 1f,80 pour les aides.

Les manœuvres employés aux transports intérieurs et à la surveillance des grilles reçoivent 1f,25. Il y a trois ouvriers par chaque four, un maître fondeur et deux aides; le nombre des manœuvres est variable. Les ouvriers mouleurs reçoivent 0f,90 par moufle lorsqu'ils font leur pâte eux-mêmes; dans le cas contraire, ils reçoivent seulement 0f,60.

On charge par four, en vingt-quatre heures environ, 7 à 8 quintaux de calamine, et on obtient de 1q,06 à 1q,16 de zinc, ce qui donne un rendement de 15 à 16 p. 100. Ce rendement, pour un minerai donné, dépend en grande partie de l'ouvrier, mais il dépend aussi du four; ainsi on a remarqué qu'un vieux four produit toujours moins qu'un four neuf déjà en marche depuis quelque temps.

Le prix moyen des différentes espèces de calamines traitées est de 1f,50 le quintal à la mine, et le transport coûte environ 0f,33.

La consommation de combustible est de 20 quintaux par quintal de zinc produit; en 1838, elle n'était que de 10 quintaux en moyenne. Cette augmentation énorme tient à ce fait capital que le rendement de la calamine a diminué dans le rapport de 5 à 2 par suite de l'appauvrissement des gîtes de Beuthen. La nature géologique de ces gîtes n'est pas encore bien déterminée; cependant on admet assez généralement que ce sont des amas plutôt que des têtes de filons, et s'il en est ainsi, leur épuisement, sans être encore pour un avenir prochain, peut cependant se prévoir.

Le prix de la houille est très-faible ; il est seulement de 6 à 7 fr. les 1.000 kilogrammes ; j'aurai du reste à y revenir dans la comparaison des diverses méthodes.

Le nombre des moufles à remplacer est de trois à trois et demi pour 1.000 kilogrammes de zinc, et celui des chaudières de refonte est environ dix fois moindre.

Une moufle coûte environ 5f,50, et une chaudière 6f,20. On compte en moyenne, au moins pour les fours nouvellement construits, qu'un massif de deux fours coûte 3.000 fr. et la partie correspondante du bâtiment 4.000 ; soit en tout 7.000 fr. ; à Lydogniahütte, et en général pour toutes les vieilles usines, la dépense est notablement moindre.

2e PARTIE.

Lydogniahütte : Moyenne de 1857.

On a fabriqué en 1857, 8.950 quintaux de zinc en lingots, et les dépenses ont été comme suit :

Main-d'œuvre.

	fr.
Traitements fixes	4.825
Travail des fours proprement dit	43.520
Transports intérieurs, etc.	14.300
Main-d'œuvre totale	62.645

Matériaux pour réparations.

	fr.
Fer en barres	2.800
Fonte	1.845
2.796 moufles à 5f,50	15.378
318 chaudières pour la refonte, à 6f,20 . . .	1.971
Argile ordinaire et réfractaire pour les fours.	7.065
Briques	3.437
Réparation des outils	580
Somme	33.076

Calamine et combustible.

	q. m.		fr.		fr.
Stück et waschgalmei. . .	38.988	à	5,82	=	226.910
Grabengalmei.	10.754	à	1,06	=	11.400
Schlammgraben.	1.740	à	0,45	=	783
Zinkasche (1).					1.383
Combustible.	173.660	à	0,73	=	127.960
Somme.					368.436

Frais généraux.

Le capital de premier établissement et de roulement est évalué à 534.218 francs, dont on compte l'intérêt à 5 p. 100 (1 silberg. 6 pfennig par thaler), ce qui donne 26.710 francs.

En résumé :

	fr.
Main-d'œuvre.	62.645
Matériaux divers	33.076
Calamine et combustible.	368 436
Frais généraux.	26,710
Dépense totale.	490.867

D'où l'on conclut pour le prix de revient :

$$\frac{490.867}{8.950} = 54^{f},84.$$

J'indiquerai plus loin à quoi tient ce prix de revient si élevé. En 1856, il avait été seulement de 48^{f},60.

Usines de la compagnie Silésienne.

Pour ces usines, j'ai pu recueillir des données numériques pour 1857 et pour le premier semestre de 1858; je mettrai toujours en regard les nombres correspondants relatifs à ces deux périodes; ils se rapporteront d'ailleurs, comme je l'ai déjà dit, à toutes les usines que possède la compagnie.

(1) On donne également ce nom à des résidus riches en zinc provenant du laminage; ceux que donne la refonte ne doivent évidemment pas être compris.

1857. De janvier en sept., 185 fours en activité; en oct., 190; nov., 206; déc., 215; ce qui donne en moyenne :				1858. (1er semestre.)			
Nombre des fours.	NOMBRE DE JOURS			Nombre des fours.	NOMBRE DE JOURS		
	de marche.	de réparation.	en tout.		de marche.	de réparation.	en tout.
189	65.643	3.574	69 217	221	37.467	1.483	38.950

Quantité de calamine traitée.

DÉSIGNATION.	CHARGES totales.	CHARGES pour 100.	CHARGES par four et par jour.	CHARGES par quintal de zinc.
1857.				
	qm.	qm.	qm.	qm.
Stück	165.421	33,23	2,47	2,21
Wasch	159.225	32,08	2,43	2,13
Graben	28.517	5,75	0,43	0,38
Erd	137.743	27,76	2,10	1,84
Schlamm	4.963	1,00	0,08	0,06
Zinkasche	753	0,15	0,01	0,01
Somme	496.622	100,00	7,57	6,65
1858. (1er semestre.)				
Stück	86.070	29,43	2,31	2,09
Wasch	75.175	25.71	2,02	1,83
Graben	42.916	14,67	1,19	1,04
Erd	83.394	28,52	2,24	2,02
Schlamm	4.485	1,53	0.12	0,11
Zinkasche	398	0,14	0.02	0,01
Somme	292.438	100,00	7,90	7,10

Production du zinc.

ANNÉES.	PRODUCTION totale.	PRODUCTION par four et par jour.	RENDEMENT moyen de la calamine
	qm.	qm.	qm.
1857	74.707	1,15	14,93 p. 100
1858 (1er semestre)	41.175	1,11	14,01 p. 100

Consommation de combustible.

1857.				1858. (1er semestre.)			
DÉSIGNATION.	CONSOMMATION totale.	CONSOMMATION par four et par jour.	CONSOMMATION par quintal de zinc.	DÉSIGNATION.	CONSOMMATION totale.	CONSOMMATION par four et par jour.	CONSOMMATION par quintal de zinc.
	qm.	qm.			qm.	qm.	
Gros. .	949.576	14,45	12,57	Gros. .	553.029	14,76	13,30
Moyen.	15 355	0,22	0,19	Moyen.	13.419	0,38	0,22
Menu. .	476.508	7,25	6,44	Menu. .	265.804	8,11	7,31
Somme	1.441.439	21,92	19,20	Somme	832.252	23,25	20,83

Proportion de moufles et de chaudières à remplacer.

1857.				1858. (1er semestre.)			
DÉSIGNATION.	NOMBRE total.	NOMBRE par jour et par four.	NOMBRE par quintal de zinc.	DÉSIGNATION.	NOMBRE total.	NOMBRE par four et par jour.	NOMBRE par quintal de zinc.
Moufles. . .	27.509	0-42	0,35	Moufles. . .	15.355	0,41	0,37
Chaudières.	2.868	0,04	0,04	Chaudières.	2.118	0,05	0,05

Calcul du prix de revient.

1857.	fr.	1858 (1er semestre).	fr.
Main-d'œuvre.	6,17	Main-d'œuvre.	6,15
Combustible.	11,18	Combustible.	12,10
Calamine { à la mine. . 10f.46 / transport. . 2f,00 }	12,46	Calamine { à la mine. . 10f,43 / transport. . 2f,18 }	12,61
Matières réfractaires.	1,80	Matières réfractaires.	1,83
Fer, fonte, etc.	0,34	Fer, fonte, etc.	0,32
Réparations.	1,36	Réparations.	1,04
Frais généraux.	1,25	Frais généraux.	1,31
Prix de revient.	34,56	Prix de revient.	35,26

Ces deux derniers prix de revient sont très-peu différents; la petite augmentation pour le second tient toujours à la même cause, le moindre rendement du minerai.

La différence entre les prix de revient pour l'usine de Lydognia et pour les usines de la compagnie Silésienne est plutôt apparente que réelle; voici quelle en est la cause.

Le vingtième du produit de toutes les mines de calamine revient à l'État et est traité à Lydogniahütte; mais cette usine doit verser à la caisse du *Bergamt* la valeur de ce minerai, déterminée au moyen du prix courant; de même elle tire son charbon de la mine royale Königsgrube, mais elle doit le lui payer également au prix courant, et en 1857 ces prix ont été très-élevés.

La compagnie Silésienne, au contraire, possède des mines de houille et de calamine, et dans le calcul du prix de revient du quintal de zinc, ces matières premières sont comptées pour une valeur précisément égale aux dépenses de l'exploitation; de sorte que le bénéfice que l'on réalise sur la vente représente la somme des trois bénéfices des mines de houille et de calamine et des usines. Ainsi en réalité le premier prix de revient est plus élevé que la moyenne, et le second est trop faible; du reste le calcul suivant permettra de se rendre exactement compte de ces faits.

La consommation de houille est à peu près la même; pour Lydogniahütte : $\frac{173.660^{qm}}{8.950}$ ou $19^{q},40$ et pour les usines de la compagnie Silésienne, $19^{q},90$. Mais dans le premier cas, on compte ce combustible à $7^{f},30$ les 1000 kilog., et dans le second cas à $5^{f},61$, ce qui, pour une consommation de $19^{q},40$, donne une différence de $1,69 \times \frac{19,40}{10}$ ou $3^{f},28$.

De même la calamine, quoique donnant un rendement plus considérable, 16,92 p. 100, au lieu de 14,93, est comptée à $26^{f},71$ par quintal de zinc produit; la

différence avec 12f,46 est de 14f,25. Si l'on retranche de 54f,84 la différence totale 3,28 + 14,25 ou 17,53, tenant à ces deux causes, on trouve pour prix de revient 37f,31, nombre tout à fait comparable à 34f,56; il est cependant encore un peu plus élevé, et la différence de 2f,75 se répartit comme suit :

Pour Lydogniahütte:

Main-d'œuvre.... $\frac{62.645}{8.950}$ = 6,99. Différence 0,82

Réparations..... $\frac{33.076}{8.960}$ = 3,69. Différence 0,19

Frais généraux... $\frac{26.710}{89.50}$ = 2,99. Différence 1,74

2,75

La dépense pour les allonges n'entre pas explicitement dans le calcul du prix de revient; le prix de fabrication est en effet compris dans la main-d'œuvre générale, puisqu'elles sont faites par le fondeur lui-même, et la valeur de l'argile est comptée sous le titre : fer, fonte, etc.

Ces prix de revient varient du reste dans d'assez larges limites, comme on peut le voir par le tableau suivant, soit avec la nature du minerai qu'on y traite, soit avec la position qu'occupe l'usine.

Tableau comparatif des différentes usines de la compagnie Silésienne.

(1er semestre de 1858.)

NOMS DES USINES.	QUANTITÉ de minerai traité.	QUANTITÉ de zinc obtenu.
	qm.	qm.
Gabor Silésia..............	112.399	19.703
Paulshütte..............	40 784	4.928
Thurzohütte..............	37.458	4.495
Friedenshütte..............	15.345	2.346
Stanislashütte..............	40.534	3.978
Carlshütte..............	45.918	5.723
Somme..............	292.438	41.175

Calcul du prix de revient.

NOMS DES USINES.	Main-d'œuvre.	Combustible.	Calamine.	Frais divers.	Prix de revient.
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
[illegible]	[illegible]	[illegible]	11,40	4,27	31,00
[illegible]	[illegible]	[illegible]	14,24	4,77	40,50
[illegible]	[illegible]	[illegible]	12,92	4,90	37,47
[illegible]	[illegible]	[illegible]	12,98	4,62	35,22
[illegible]	[illegible]	[illegible]	15,66	6,23	46,90
[illegible]	[illegible]	[illegible]	12,23	6,91	41,00

Si l'on divise l'un par l'autre, les nombres correspondants du premier tableau, on trouve successivement les nombres suivants : 17,52—12,05—12—15,28—[illegible] et [illegible], qui représentent le rendement des calamines traitées, et ces nombres varient tous dans le même sens que les frais de main-d'œuvre ; les dépenses en combustible et en calamine ne suivent pas complétement cette loi, parce qu'elles dépendent en outre de la distance de l'usine aux mines. Mais pour Stanilaüs-[illegible] en particulier, la plus éloignée des mines de houille et de calamine, et dans laquelle on n'a traité qu'un minerai très-pauvre, on voit qu'on est arrivé à un prix de revient plus élevé de 15f,90 qu'à l'usine [illegible]-Silesia.

[illegible] J'ai déjà parlé de l'augmentation énorme qui s'est produite depuis vingt ans dans la consommation de combustible, et j'en ai indiqué la cause.

La main-d'œuvre et les frais généraux ont aussi suivi cette progression ascendante, mais moins rapidement, parce qu'on a chargé beaucoup plus les moufles. Ainsi, au lieu de 5qm.16 (1) par four et par jour, on a chargé 7qm,52, et cependant la production totale a descendu

(1) Voir, pour les données numériques relatives à 1838, le mémoire de M. Callon, *Annales des mines*, 1840, 3e série, tome XVII.

de 1q,77 à 1q,15. Mais il en est résulté une pression beaucoup plus considérable à l'intérieur des moufles, qui en a augmenté beaucoup la consommation. En 1838, en effet, une moufle durait de seize à vingt semaines; maintenant la proportion est de 0,42 par four et par jour; il faut donc un nombre de jours égal à $\frac{20}{0,42}$ ou 47 jours pour remplacer les 20 moufles d'un four; c'est-à-dire que leur durée n'est plus que le tiers de ce qu'elle était. Il est également très-facile d'avoir la consommation de moufles rapportée à la quantité de zinc produite. J'ai indiqué qu'il faut trois moufles et demi par 1000 kilog. de zinc; une moufle peut donc produire 2q,85. Le nombre de 34 quintaux indiqué par Karsten me paraît exagéré, car pour prendre les nombres de 1838, une moufle produisait par semaine $\frac{12^{q},40}{20}$ ou 0q,62 de zinc; il lui aurait donc fallu, pour produire ces 34 quintaux, un nombre de semaines égal à $\frac{34}{0,62}$ ou environ un an. Il est assez probable qu'on a voulu indiquer 3q,4, et, dans ce cas, on voit encore qu'il y a une augmentation très-forte dans la consommation de moufles.

Je ferai encore remarquer que la charge par four est plus considérable et la production plus petite en 1858 qu'en 1857.

Ainsi donc, pour résumer en deux mots ce qui précède, les gîtes de calamines, que l'on suppose formés d'amas, vont en s'appauvrissant de jour en jour; par cela même, le prix de revient du zinc va en augmentant, et la conséquence forcée de l'ensemble de ces deux faits, si, bien entendu, l'appauvrissement des gîtes se continue, est un avenir restreint pour la métallurgie du

zinc en haute Silésie, à moins de méthodes nouvelles plus économiques.

du zinc. le vente. Les usages du zinc sont très-nombreux; ce métal entre dans la composition du laiton, et sert à galvaniser le fer; sa consommation, sous forme de blanc de zinc, prend de jour en jour plus d'importance; enfin, sous la forme de zinc laminé, il est employé pour les toitures et pour le doublage des navires. Cette dernière industrie en emploie des quantités considérables, partie à l'état de feuilles, partie à l'état de clous, car les clous en fer qui se rouillent et se détruisent très-vite feraient disparaître presque complétement les avantages du doublage.

Le prix de vente est très-variable; ainsi, pour ne parler que du zinc en lingots, il s'est vendu jusqu'à $67^{f},90$ le quintal dans le courant de 1857, tandis qu'au commencement de cette même année il valait seulement $52^{f},14$. Mais cette hausse était due uniquement à la spéculation, car la quantité de zinc sur le marché était assez considérable; aussi n'a-t-elle été que de peu de durée. La compagnie Silésienne a fait, le 18 septembre 1858, une vente assez considérable au prix de $51^{f},75$ le quintal, que l'on peut regarder comme un prix moyen.

CHAPITRE III.

sais, ements, rations. Les essais faits dans ces dernières années en haute Silésie, dans le but d'apporter des perfectionnements à la métallurgie du zinc, ont été très-nombreux; ils peuvent se diviser, selon le but que l'on s'est proposé, en trois classes bien distinctes, savoir :

1° Extraire en même temps que le zinc, le fer qui se trouve toujours en très-grande abondance dans les minerais dont on dispose;

2° Augmenter le rendement en diminuant la perte par l'oxyde de zinc;

3° Diminuer la consommation de combustible.

Essai pour extraire le fer.

Comme je le disais en commençant, la calamine de Beuthen renferme une très-grande quantité de fer; souvent la proportion atteint 20 p. 100, et il en résulte alors d'assez grandes difficultés pour l'extraction du zinc par la méthode actuelle; tout ce fer passe dans les résidus, s'attache fortement aux parois des cornues et retient une partie de l'oxyde de zinc, qui échappe ainsi à l'action réductive du carbone et diminue d'autant le rendement total; aussi était-il tout naturel de chercher par une méthode mixte à extraire à la fois les deux métaux.

On construisit dans ce but, en 1852, à Königshütte, un petit haut-fourneau ayant seulement 10 mètres de hauteur et 2m,40 de largeur maximum; à la partie supérieure se trouvaient une série de tuyaux disposés horizontalement et se prolongeant à l'extérieur par une partie refroidie destinée à condenser le zinc; le gueulard était en outre fermé par une double porte, afin d'éviter les pertes en zinc par le chargement. On le mit en marche comme un haut-fourneau ordinaire, en chargeant d'abord du combustible seul, et ajoutant peu à peu du minerai de fer proprement dit jusqu'à la marche normale; c'est alors seulement qu'on commença à ajouter au minerai de fer des quantités croissantes de minerai de zinc, et au bout de quelques jours on ne chargeait plus que de ce dernier. Le four continua à marcher sans s'obstruer, et l'on obtint du zinc à la partie supérieure, et de la fonte à la partie inférieure; le résultat que l'on s'était proposé semblait donc atteint; mais les conditions économiques furent aussi mauvaises que possible.. La consommation de

[illegible] était plus du double de ce qu'elle est dans les hauts-fourneaux ordinaires : la fonte obtenue contenait une très-forte proportion de zinc qui la rendait [illegible], dès lors impropre à une foule d'usages, et par suite d'une faible valeur commerciale ; enfin le rendement en zinc était très-faible, et l'on n'obtenait ce métal que sous forme de globules ou même de poussière qu'il fallait traiter de nouveau au four silésien, cette opération n'étant alors qu'une simple opération d'enrichissement. Ces mauvais résultats tenaient-ils au principe même de la méthode ? ou auraient-ils pu disparaître par quelques changements apportés dans la disposition du fourneau ? C'est ce qui, peut-être, n'a pas été étudié avec assez de soin ; toujours est-il qu'on a renoncé complétement à ces essais. Le haut-fourneau existait encore vers la fin de 1858, mais servait depuis longtemps comme haut-fourneau ordinaire ; il devait disparaître bientôt en même temps que les deux derniers hauts-fourneaux de l'ancienne usine à fer de [illegible] pour permettre de compléter l'ensemble des [illegible].

Le zinc qui vient de prendre naissance à l'intérieur des moufles par la réduction de la calamine, arrive au [illegible] à une très-haute température ; il s'oxyde [illegible] à l'extrémité des allonges. Cet [illegible] très-[illegible], la plus grande partie [illegible] sur la [illegible] inférieure et repasse dans la charge suivante ; mais une autre partie très-notable [illegible] par le courant gazeux et constitue une [illegible]. Le grillage du minerai a été un premier [illegible] dans ce sens, car non-seulement il [illegible], comme je l'ai dit plus haut, une économie de [illegible], mais en diminuant l'intensité du courant gazeux à [illegible] également la quantité d'oxyde de

zinc entraîné; néanmoins la perte est encore très-appréciable. Il semble au premier abord très-simple de la faire disparaître complétement, soit en gênant l'arrivée de l'air de manière à empêcher la formation de l'oxyde, soit en recueillant tout l'oxyde entraîné. Ces deux moyens ont été essayés, mais dans l'un et l'autre cas, on diminua forcément le tirage s'effectuant de l'intérieur de la moufle à l'extérieur, et la proportion de zinc restant dans les résidus augmenta dans une proportion telle que le rendement total fut moindre qu'en laissant libre l'extrémité de l'allonge, et l'on dut, par suite, renoncer à ces essais.

Les essais faits dans le but de diminuer la consommation de combustible ont été les plus nombreux; c'est là, en effet, le côté faible de la méthode silésienne. Comme l'indique M. Callon, dans son mémoire, on a successivement annexé au four de réduction le four de grillage, le four à cuire les moufles et le fourneau pour la refonte, et actuellement il n'existe en haute Silésie aucune usine où ces fours soient indépendants et chauffés par un foyer spécial; mais les essais ont été poussés plus loin. 3° Essai pour dimin. la consomm. de combustib.

Dans ces dernières années, on a successivement porté le nombre des moufles de chaque four à 24, 26, 28 et même 30; mais les résultats obtenus ont été tout contraires à ceux qu'on avait espérés; on peut les résumer par le tableau suivant qu'a bien voulu me communiquer M. Sving.

Résultats moyens pour un mois de traitement.

DÉSIGNATION du four.	QUANTITÉ de minerai traité.	COMBUSTIBLE consommé.	ZINC obtenu.	CONSOMMATION de charbon par quintal de zinc produit.	Rendement, pour 100.
	qm.	q.	q.	q.	
Four à 20 moufles . .	53,55	138,70	10,30	13,42	19,23
Four à 24 moufles . .	60,70	152,00	10,85	14,00	17,49
Four à 30 moufles . .	67,83	178,60	11,48	15,55	16,89

On voit que non-seulement le rendement va en diminuant à mesure que le nombre des moufles augmente, mais que la consommation relative de combustible va en augmentant, et qu'il reste alors pour seul avantage de l'emploi d'un grand nombre de moufles une production totale plus grande, et encore la différence est-elle très-faible. Quelques personnes cependant, il faut bien le dire, pensent que ces mauvais résultats tiennent, non au four lui-même, mais à l'ouvrier, et qu'un fondeur habile doit nécessairement produire le zinc plus économiquement dans un four à 26 ou 30 moufles que dans un four à 20 moufles. Mais l'opinion la plus générale est que ce dernier est le meilleur, et la compagnie Silésienne en particulier, comme je l'ai déjà fait remarquer, a construit ses deux halles les plus récentes, Silésia 2 et 3 exclusivement avec des fours de 20 moufles; et lorsqu'un vieux four est hors de service, elle le remplace également par un four à 20 moufles.

Des essais ont également été faits dans une autre voie; on a cherché à mieux utiliser la chaleur du combustible en produisant un tirage plus énergique. On disposa dans ce but, à la partie supérieure du four et de chaque côté, un conduit longitudinal communiquant avec l'intérieur par des ouvertures pratiquées au-dessus

de chaque embrasure, et se rendant à une cheminée centrale conduisant les gaz à l'extérieur de l'usine; des registres permettaient de régler le tirage pour chacune des ouvertures en particulier. Mais les résultats obtenus furent les mêmes que précédemment, ce qu'il était du reste assez facile de prévoir. On s'était laissé guider en effet par les bons résultats obtenus en Belgique avec les fours silésiens munis de cheminées; mais là on dispose d'un charbon brûlant avec flamme et donnant du mâchefer qui forme une couche incandescente sur laquelle l'air s'échauffe avant de brûler le charbon frais. En haute Silésie, au contraire, la houille est très-maigre, brûle pour ainsi dire sans flamme et ne s'agglutine pas; qu'arrivait-il alors dans les fours munis de cheminées? il s'établissait un courant d'air très-fort qui brûlait très-vite le combustible au moment du chargement, et il en résultait un coup de feu; mais bientôt les morceaux étaient assez petits pour passer à travers la grille, et le courant d'air continuant refroidissait nécessairement le four. Il devenait alors très difficile, par suite de ces alternatives de coups de feu et de refroidissement, de régler convenablement la marche du four, et la proportion de zinc restant dans les résidus était très-considérable; aussi a-t-on dû renoncer à cet essai comme à tous les autres. On peut encore voir ces cheminées à Paulshütte et Gabor 2, mais elles ne servent plus; elles sont complétement bouchées, et on a rétabli les simples ouvertures à la voûte au-dessus de quelques embrasures.

En présence de ces résultats, ne faut-il pas conclure que le four silésien tel qu'il existait il y a vingt ans est en quelque sorte parfait en lui-même, qu'il n'y a plus à songer à l'améliorer? et cependant, comme je l'indiquais au chapitre précédent, il est insuffisant ou Conclusion

sur le point de le devenir, en admettant toutefois que l'appauvrissement des gîtes de calamine doive continuer. Une méthode entièrement nouvelle peut donc seule, dans ce cas, rendre prospère la métallurgie du zinc en haute Silésie; il faut emprunter à la théorie des réactions autres que l'action réductive du carbone et chercher les appareils nécessaires pour rendre leur application pratique, et peut être la voie humide, qui, je m'empresse de le dire, doit en général être regardée comme inférieure à la voie sèche, pourrait-elle, dans ce cas particulier, présenter de grands avantages. A l'appui de cette opinion, je citerai les deux faits suivants :

1° Les changements radicaux que l'on se propose de faire à Przibram (Bohême) pour débarrasser, par voie humide, les minerais de plomb argentifère de la grande quantité de zinc qu'ils contiennent.

2° Les essais déjà faits en haute Silésie. L'essayeur employé aux fours de grillage de Beuthen m'a parlé d'une méthode par voie humide inventée par lui et sur le point d'être employée en grand; elle permettrait, m'a-t-il assuré, de traiter avec avantage tous les résidus de la préparation mécanique tenant en moyenne 7 à 8 p. 100 de zinc.

CHAPITRE IV.

COMPARAISON DES MÉTHODES.

La comparaison de la méthode silésienne et des autres méthodes employées pour l'extraction du zinc peut se faire à deux points de vue différents, présentant l'un et l'autre de l'intérêt, mais qu'il importe de bien distinguer. Ainsi dans un premier aperçu on peut tout d'abord traiter la question d'une manière générale sans

se préoccuper des circonstances locales, et dans une seconde partie, formant le complément indispensable de la première, faire, pour la méthode silésienne, dont je m'occupe spécialement, la part de ces circonstances. Je vais les examiner successivement.

Un premier fait qu'il me sera très-facile d'établir, c'est que le four silésien est d'une construction beaucoup plus simple et plus économique que le four belge. Ainsi en Silésie cette construction n'exige, comme nous l'avons vu, que l'emploi de briques ordinaires; pour le four belge, au contraire, il faut nécessairement employer des briques d'un grand nombre de modèles différents; aussi en résulte-t-il que le prix de revient de ce dernier est très-élevé. MM. Piot et Murhaile, dans un mémoire inséré dans les *Annales des mines*, 4ᵉ série, tome V, 1844, indiquent le chiffre de 8.887ᶠ,62, tandis qu'un massif de deux fours silésiens fait cependant avec soin ne revient pas à plus de 3.000 francs (1). M. Rivot indique même un prix beaucoup plus faible pour des fours silésiens établis à Stolberg; le four et la partie correspondante de la halle reviendraient seulement à 3.750 francs. Mais enfin, pour bien fixer les idées, prenons pour prix du double four silésien 3.000 francs, et pour prix du four belge 8.800 francs. Ces nombres d'ailleurs n'ont qu'une importance relative; ce qu'il importe en effet de considérer, ce n'est pas le prix total du four, mais bien ce prix rapporté au quintal de zinc qu'il peut produire; et on a précisément objecté quelquefois contre le fait que je cherche à établir que le four Comparaison générale.

(1) Il existe, il est vrai, à Steinfürt, près Stolberg, des fours silésiens d'une construction très-compliquée ayant coûté 10.400 francs; mais c'est là un luxe de construction qui n'est nullement nécessaire et ne peut évidemment pas servir de règle générale.

silésien produit beaucoup moins que le four belge, la production de ce dernier étant de 300 kilogrammes en vingt-quatre heures, tandis que celle du four silésien n'est que 115 kilogrammes. Mais ces nombres ne sont nullement comparables; si le four silésien ne produit pas davantage, cela ne tient pas au four lui-même, mais à la faible teneur du minerai qu'on y traite. Supposons effet que le minerai rende comme en Belgique 30 p. 100 au lieu de 15; la production sera alors de 230 kilogrammes, et celle d'un massif de deux fours sera le double ou 460 kilogrammes, c'est-à-dire beaucoup plus grande que pour un four belge, quoique ce massif coûte près de trois fois moins. Et cependant cette évaluation est au-dessous de la vérité, car tel minerai qui rend 30 p. 100 au four belge rendra certainement plus au four silésien, et c'est là encore un des principaux avantages de ce dernier. Ainsi, tandis que par le procédé belge il reste 10 et même 12 p. 100 de zinc dans les résidus, il ne reste, par le procédé silésien, que 2 à 3 p. 100 pour des minerais rendant 15 p. 100, et on est par suite bien fondé à admettre qu'il resterait moins de 4 à 6 p. 100 pour des minerais belges, c'est-à-dire que la perte serait moitié moindre.

D'un autre côté, des briques ordinaires suffisant pour la construction du four, tous les appareils accessoires nécessaires en Belgique pour la fabrication des briques de formes déterminées se trouvent supprimés; il en est de même des moulins à broyer le minerai, indispensables pour le traitement belge, et nullement nécessaires pour le traitement silésien, puisqu'il suffit de concasser les morceaux un peu trop gros, ce qui diminue notablement les frais de premier établissement. Mais on a quelquefois retourné l'argument pour le rendre à l'avantage du four belge, en disant que si celui-ci exige

un minerai en poudre, en revanche le four silésien exige un minerai en morceaux; qu'il est toujours possible de réduire en poudre un minerai quelconque, et que des circonstances particulières peuvent faire qu'on ne dispose que de minerai en poudre. Le four silésien en effet ne donnerait dans ces conditions que de très-mauvais résultats à cause de la grande capacité des moufles; mais le seul cas où on pourrait être conduit à ne disposer que de minerai en poudre serait pour la blende, qui ne peut être grillée complétement qu'à cette condition, et il sera certainement toujours possible par un coup de feu à la fin du grillage et par un brassage convenable d'agglomérer la masse de manière à faire disparaître même dans ce cas l'inconvénient du four silésien.

J'indiquerai seulement pour mémoire qu'en Belgique les fours de grillage, de cuisson de moufles, etc., sont en général distincts des fours de réduction, car il me paraît possible de les y annexer sans inconvénient, et de réaliser ainsi les avantages obtenus en Silésie, tels que l'économie du combustible et de main-d'œuvre, en même temps qu'une surveillance et une comptabilité plus faciles.

Un autre inconvénient souvent reproché à la méthode silésienne, c'est que tout le zinc produit par cette méthode a besoin d'être refondu, tandis qu'en Belgique une partie peut être livrée directement au commerce. Mais ce n'est pas là, il me semble, un inconvénient; cette refonte, en effet, n'augmente ni les frais de main-d'œuvre ni la consommation du combustible, et la dépense pour la consommation des chaudières, d'ailleurs insignifiante, est largement compensée par la plus-value qu'acquiert le zinc par cette opération, qui le débarrasse en partie du plomb qu'il pouvait contenir.

Enfin, la consommation des creusets est beaucoup

moindre en Silésie qu'en Belgique. Un four belge marche bien quand il n'exige que quatre ou cinq creusets en vingt-quatre heures; chacun de ces creusets coûte environ 2 francs : cela fait donc une dépense de 8 à 10 francs par 300 kil. de zinc produit, soit 3 francs par quintal de zinc. En Silésie, nous avons vu qu'il faut environ 0,35 de moufle par quintal de zinc, ce qui correspond à une dépense de 2 francs, et si l'on applique la remarque déjà faite, on peut admettre qu'avec le minerai de Belgique, la dépense serait seulement de 1 franc; et cependant la terre dont on dispose est peu réfractaire.

Mais la consommation de combustible est beaucoup plus considérable au four silésien qu'au four belge; ainsi tandis que dans le premier cas il faut 20 quintaux de houille par quintal de zinc, il suffit dans le second de 5 quintaux. Mais là encore ne faut-il pas admettre que la consommation au four silésien ne dépasserait pas 10 quintaux avec le minerai de Belgique, et qu'elle serait moindre encore si, au lieu de houille silésienne qui ne donne qu'une faible quantité de chaleur, on brûlait de la houille belge. Néanmoins, il faut le reconnaître, cette consommation reste toujours plus grande au four silésien qu'au four belge.

Ainsi donc en résumé, le four silésien présente sur le four belge les avantages suivants : Grande économie dans les frais de premier établissement, économie de main-d'œuvre et de frais d'administration, rendement plus considérable du minerai et moins grande dépense pour les creusets; mais la consommation du combustible est plus considérable. Aussi faut-il bien se garder de conclure d'une manière générale que le four silésien est plus avantageux que le four belge. Cependant je crois être en droit d'admettre, d'après ce qui précède, qu'à moins d'un prix excessivement élevé du combus-

tible, le four silésien sera préférable, et la meilleure preuve à en donner est l'existence en Belgique et en Prusse-Rhénane, à Valeutin-Coq, Barbeck, Steinfülirt, Stolberg, de fours silésiens, tandis qu'en haute Silésie il n'existe aucun four belge; cela ne prouve-t-il pas au moins que le four silésien est d'un usage plus général que le four belge?

Tenons compte maintenant des circonstances particulières à la haute Silésie.

1° Le combustible, comme j'ai déjà eu plusieurs fois occasion de le dire, est très-maigre et brûle sans flamme; il est alors évident que la méthode belge, par suite de la distance énorme qui sépare les creusets supérieurs du foyer, n'aurait donné que de très-mauvais résultats.

2° Le minerai dont on dispose est relativement très-pauvre; il ne tient guère, en moyenne, plus de 20 p. 100, et une méthode qui laisse dans les résidus le quart du zinc contenu dans le minerai, ne saurait convenir à ce cas.

3° L'argile de Poremba, la seule employée pour la fabrication des moufles, est peu réfractaire et de mauvaise qualité. Or dans le four belge, pour que les cornues supérieures atteignent la température de volatilisation du zinc, il faut que les cornues inférieures soient à une température très-élevée, à laquelle bien certainement ne résisterait pas l'argile de Poremba. Mais l'argile fût-elle meilleure qu'il serait encore difficile d'arriver à un résultat satisfaisant; il faut en effet tenir compte, en outre, de l'intelligence et de l'activité des ouvriers dont on dispose. Or la compagnie silésienne a cherché à plusieurs reprises à exciter l'émulation en donnant des primes aux mouleurs et aux fondeurs dont les moufles dureraient plus que la moyenne; mais elle n'a obtenu aucune amélioration sensible. L'ouvrier po-

lonais est de sa nature très-indolent, et lorsqu'il gagne assez pour se nourrir et se loger, et pour se fournir de bière et de tabac (deux choses indispensables), il ne se soucie guère de gagner davantage.

4° Enfin, il me reste à signaler une dernière circonstance, peut-être la plus importante de toutes : je veux parler de la quantité énorme de fer que renferme le minerai Il suffit d'avoir assisté une fois à un déchargement d'un des fours de la haute Silésie, d'avoir pu juger quelle force les ouvriers, armés de très-gros ringards, doivent déployer pour détacher des moufles les résidus à demi fondus, pour être bien convaincu que les creusets, même les mieux fabriqués, tels qu'ils sont employés en Belgique, c'est-à-dire reposant seulement par leurs deux extrémités, ne pourraient dans aucun cas résister à un pareil choc, et qu'il faudrait après vingt-quatre heures renouveler entièrement tous les creusets de chaque four.

Comme conclusion générale, il me paraît donc bien démontré par tout ce qui précède que la méthode silésienne conviendra principalement pour des minerais pauvres et pour des combustibles brûlant sans flamme; et pour la haute Silésie en particulier, où à ces deux circonstances se joint celle d'une grande quantité de fer dans le minerai, il serait matériellement impossible, économiquement parlant, d'employer pour l'extraction du zinc, parmi les méthodes connues, d'autre méthode que celle que je viens de décrire et qui lui doit son nom.

La méthode anglaise, dont je ne me suis pas occupé, parce qu'elle ne s'emploie guère que pour le traitement des blendes grillées, présenterait certainement encore plus d'inconvénients que la méthode belge.

MODIFICATION DE L'APPAREIL

DE

DÉCLANCHEMENT DU FREIN AUTOMOTEUR (1).

Par M. GUÉRIN, ingénieur civil.

La saillie trop forte du manchon à force centrifuge présentant des inconvénients, il était à désirer que cet organe pût être remplacé par un autre à la fois plus simple et moins volumineux.

La *fig.* 4, Pl. VI, représente les modifications adoptées ; l'appareil comprend :

1° Une pièce fourchue *b* fixée à la traverse d'about du châssis et articulée de manière à se baisser pour servir de buttoir à l'épaulement du crochet de la tige de traction, ou à se soulever pour la laisser libre ;

2° Un levier vertical *c* muni d'un poids ou galet *d*, communiquant, au moyen d'une tige *e*, son mouvement au buttoir fourchu (ce levier est fixé à la tige de traction) ;

3° Un rochet *x* fixé à la traverse d'about ;

4° Une douille de déclanchement *l* fixée à la tige de traction ;

5° Une came H fixée à l'un des essieux.

Lorsque le train est en marche, la came H en tournant met en mouvement le poids ou galet *d* qui se

(1) Voir le rapport adressé sur ce frein à M. le ministre des travaux publics, par MM. Piobert, Combes et Couche (*Annales des mines*, tome X, 1856, page 115.

trouve projeté d'autant plus loin que la vitesse est grande. Il en résulte qu'à une certaine vitesse, la dent de la tête de bielle *e* a dépassé celle du rochet *x* qui retient le tout dans cette position jusqu'à ce qu'un arrêt force la douille *l* à passer sur la queue du rochet. Le poids *d* réagit alors vers la came, et remet le tout à sa place.

Pour refouler, le train étant au repos, le buttoir fourchu *b* se trouve intercalé entre la traverse du châssis et l'embase du crochet de traction ; cette pièce en refoulant sert de point d'appui au ressort de choc et s'oppose à l'action du frein.

Une expérience d'une année a pleinement sanctionné la valeur pratique du système à came. Le remplacement du manchon a déjà été opéré sur une partie des wagons à frein automoteur des chemins d'Orléans et du Nord, et la même disposition est également appliquée aux appareils qui viennent d'être construits pour le chemin de l'Est.

BULLETIN.

DEUXIÈME SEMESTRE 1859.

Notice sur l'industrie minérale dans le Wurtemberg.

Le Wurtemberg renferme beaucoup de minerai de fer sur les versants nord et sud de l'Alb, aussi bien que dans l'intérieur des montagnes de la Forêt-Noire. Parmi ceux que l'on rencontre dans cette dernière région, il faut citer principalement le fer oligiste fibreux (Glaskopf) et l'hématite brune (Brauneisenstein), qui sert à fabriquer l'acier si renommé de Christophsthal. Cette usine, située près de Freudenstadt, occupe 2,050 ouvriers, et travaille au charbon de bois; elle produit annuellement : § 1. Aperçu histori et consideratio générales.

10.000 quintaux de fonte (Roheisen);
10.000 — de fer (Stabeisen);
1.000 — d'acier;

Soit un rendement net de 38.000 florins (81.428 francs).

Mais les gîtes ferrifères de l'Alb, dans la vallée supérieure du Rocher, ont une importance beaucoup plus grande encore. Près de Wasseralfingen, il existe une puissante couche de minerai oolithique se ramifiant en cinq veines, mais dont deux seulement sont en exploitation : l'une à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure. Le minerai rend 33 p. 100. Il est exploité à la poudre et par des galeries de 8' de hauteur sur 7' de large. Les ouvriers y gagnent de 40 à 50 kr. par jour, et le quintal de minerai revient seulement à 10 kr., tandis que dans le nord de l'Allemagne il coûte 1/4 de thaler (26 kr.). On estime à 3.400 millions de quintaux par mille quarré la quantité de minerai que renferme ce gîte important. Les deux veines exploitées près d'Aalen et de Wasseralfingen mesurent 5 milles géographiques.

Ces mines de fer sont fort anciennes, car d'après une charte octroyée en 1260, l'empereur Conrad IV les donna déjà en fief, et en 1365 Ulrich de Helfenstein les reçut à titre de fief régulier de l'empereur Charles IV. L'année suivante, le couvent de Koenigsbronn obtint le droit d'y exploiter le minerai de fer, et ce sont les moines de ce couvent qui paraissent avoir donné la première impulsion sérieuse aux travaux de ces mines. Depuis 1511, ces établissements ont été dirigés par des Wurtembergois. Ce fut d'abord un seigneur de Woelwarth et deux patriciens d'Ulm; puis, jusqu'au commencement de ce siècle, les prévôts d'Ellwangen. Le 1er janvier 1671, on mit à feu le premier haut-fourneau à Wasseralfingen, dont la propriété passa en 1806, avec Ellwangen, à la couronne de Wurtemberg. Depuis cette époque, l'exploitation et la fabrication vont constamment en augmentant. Ces mines, dont le rendement net est de 17 p. 100, ont produit :

En 1850.	200.000	quintaux de fer.
Et l'année dernière.	450.000	—

On emploie ce fer à la fabrication d'ouvrages en fonte et petit fer, des roues de wagons et de locomotives.

Les quantités produites sont les suivantes :

62.000	quintaux	de fonte,
40.000	—	de fer en barres,
7.000	—	de roues de wagons,
4.000	—	de roues de locomotives.

Le nombre d'ouvriers occupés à Wasseralfingen est de 1.150, et les martinets d'Abtsgmund, d'Unterkochen, de Koenigsbronn et d'Ytzelberg sont autant de dépendances de ce dernier établissement.

L'extraction du minerai de fer brun jurassique (braunes Juraerz) et de l'hématite brune (Brauneisenstein Bohnerz, Linsenerz) s'élèvent pour :

Koenigsbronn et Wasseralfingen, à	120.000	quintaux.
Ludwigsthal, à.	40.000	—
Schussenried et Zwiefalten, à . . .	70.000	—
Reutlingen, à.	17.000	—

La production annuelle pour les six hauts-fourneaux actuellement en activité dans le pays, tant en fer en barres et laminé qu'en tôle et menu fer, est de 700.000 quintaux. Pour cette

fabrication, en consomme, indépendamment de la tourbe, 240 000 tonnes ou cuveaux de charbon de bois, 60.000 cordes de bois et 200 000 quintaux de houille.

Le fer au Wurtemberg, qui est produit presque exclusivement au charbon de bois, est de très-bonne qualité.

On compte dans le royaume 7 hauts-fourneaux, savoir :

A Wasseralfingen.	3
A Koenigsbronn.	1
A Friedrichsthal.	1
A Wilhelmshütte.	1
A Ludwigsthal.	1
	7

Le nombre des feux d'affinage (Frischfeuer) se montait :

En 1856-1857, à	34
Celui des fours à puddler, à.	8
Et celui des fours à souder (Schweissoefen), à	7
	49

Les hauts-fourneaux et les feux d'affinage sont chauffés au charbon de bois.

Les fours à puddler et les fours à souder, au charbon de terre.

La tourbe et le bois ne sont plus employés, ou seulement en minime quantité, dans les fonderies de fer, tandis qu'on en faisait autrefois un grand usage.

Les prix du bois de chauffage diffèrent considérablement suivant les localités :

La corde (soit 3 stères 386) de bois de hêtre varie de 8 à 24 florins, soit par stère de 5f,06 à 15f,18.

La corde de bois de sapin coûte de 5 à 16 florins, soit de 3f,16 à 10f,01 le stère.

La consommation en charbon de bois dans les hauts-fourneaux, dans lesquels on traite le fer oxydé hydraté oolithique (Thoneisenstein), est de 1.100 à 1.150 kilog. par 1.000 kilog. de fonte, et dans les usines qui fondent la mine en grains (Bohnerz), elle s'élève à 1.400 et à 1.500 kilog.

Le Wurtemberg compte environ 30.000 arpents de tourbières, représentant une surface de 94.500 hectares. Tourbe.

Les tourbières les plus importantes sont dans la vallée du Danube, près d'Ulm, et dans la haute Souabe.

On emploie la tourbe en quantité considérable ; notamment à l'usage des locomotives du chemin de fer sur le parcours d'Ulm à Friedrichshafen ; on s'en sert beaucoup aussi dans les ménages et pour toute espèce de chauffage.

La houille de Saarbrück revient :

A Heilbronn, à environ.	15 fr.	les 100 kil.
Celle de la Roër, de.	16 à 17	—
Et celle de Saxe coûte à Wasseralfingen.	17 à 18	—

Le prix de 1.000 kilog. de fonte brute varie, suivant la qualité, de 130 à 160 francs.

D'après les données officielles publiées tant en Wurtemberg qu'en Bavière et en Prusse, sur le mouvement de l'exploitation des mines, des salines et des usines métallurgiques dans chacun de ces trois royaumes, l'importance de leur production respective pendant la dernière année de la période décennale 1847-57 est donnée par le tableau suivant :

	Wurtemberg.		Bavière.	Prusse.
	florins.	kr.	florins.	florins.
Mines	523.425	18	1 930.649	62.941.809
Usines	4 060.582	22	10.541.326	140.115.839
Salines.	1.047.665	04	3.957.678	2.998.773
Totaux.	5.631.672	44	16.429.653	206.056.421

Le nombre d'ouvriers employés à ces travaux a été, savoir :

	Wurtemberg.	Bavière.	Prusse.
Mines	734	5.750	118.717
Usines.	1.729	3.884	60.186
Salines.	242	2.748	2.067
	2.705	12.382	180.970

Il ressort de la comparaison entre les chiffres précédents, une valeur productive par tête d'ouvrier, savoir :

	1° Mines.	2° Usines.	3° Salines.
	florins.	florins.	florins.
Wurtemberg.	713	2.348	4.329
Bavière.	335	2.714	1.440
Prusse.	530	2.328	1.450

Si nous examinons et comparons la richesse productive annuelle de l'industrie minière de chacun de ces trois États par rapport à l'importance de leur population respective, en prenant pour base le chiffre du dernier recensement adopté pour

l'union douanière allemande, on remarque que la valeur productive de l'industrie minière dans le Wurtemberg, pour une population de 1.690.898 âmes, n'est que de 18 kr. par tête; tandis qu'en Bavière, pour une population de 4.621.279 âmes, elle est de 25 kr.; et en Prusse, pour une population de 18.107.274 âmes, de 3 fl. 28 kr.

La Prusse est par conséquent parmi ces trois États de beaucoup le plus riche en minéraux, soit 11 ou 12 fois plus que le Wurtemberg, et 8 fois plus riche que la Bavière; d'où il résulte encore que :

En Prusse, on compte	1	mineur	sur	152 individus.
En Bavière.	1	—	sur	803
En Wurtemberg. . . .	1	—	sur	2.303

La grande différence en plus qui existe en faveur de la Prusse dans le rendement de la production minière, provient principalement de l'exploitation de ses mines de houille et de lignite, qui ensemble participent pour 49.825.434 fl., soit pour près de 80 p. 100 dans la valeur générale de la production des mines de ce royaume; tandis que le Wurtemberg est jusqu'à présent totalement privé de ces deux espèces de produits minéraux.

§ 2. Statistique

Le mouvement de l'industrie minière et métallurgique et l'exploitation des salines dans le royaume de Wurtemberg pendant la période décennale du 1er juillet 1847 au 30 juin 1857, présente les résultats suivants. (Voir les tableaux placés à la fin de cette notice, pages 538, 539, 540.)

Mines.

Quatre produits font spécialement l'objet de l'exportation minière dans le Wurtemberg :

Le minerai de fer (Eisenstein);

Le schiste vitriolifère (Vitriolschiefer);

L'argile salifère ou gypse accompagné de sel (hallerde, salzgyps);

Le sel gemme (Steinsalz).

I. Minerai de fer.

— Le rendement de l'extraction des mines de fer s'est successivement élevé :

En quantité :

De 420.327 quintaux obtenus dans la campagne de 1846-47;

A 790.584 quintaux montant de la production en 1856-57;

Soit une augmentation de 88 p. 100;

Et en valeur :

De 79.418 florins pour 1846-47,
A 130.443 florins pour 1856-57.

Le nombre d'ouvriers employés à cette opération, qui ne se montait en 1846-47 qu'à 416, était en 1856-57 de 601.

—A cette branche d'industrie était venue se joindre pendant quelques années l'exploitation d'un produit nouveau, le schiste vitriolifère, dont le rendement, pour la première année 1847-48, a été de 2.876 quintaux.

Il a été employé à ces travaux 6 ouvriers.

En 1848-49, la production avait augmenté, mais pour diminuer quelque peu en 1849-50.

Cette espèce de produit, qui n'était d'ailleurs exploité que dans deux établissements privés, après avoir rendu, en 1850-51, 11.489 quintaux; puis, en 1852-53, jusqu'à 28.977 quintaux, s'est réduit à 2.648 quintaux en 1854-55; à partir de cette année, il cesse même de figurer sur les états. A l'époque de son plus grand développement, en 1852-53, l'exploitation du schiste vitriolifère occupait 26 travailleurs, et la valeur de la production se montait à 3.623 florins.

. Argile salifère. — L'argile salifère et le gypse accompagné de sel sont exploités dans une des mines de l'État.

La quantité extraite au commencement de la période précitée montait à 55.944 quintaux; elle a été en diminuant successivement jusqu'en 1853-54, pendant laquelle elle n'était plus que de 36.011 quintaux; mais à partir de cette époque elle s'est promptement relevée pour atteindre 79.907 quintaux en 1856-57; de sorte que dans la dernière des dix années la production a augmenté de 42 p. 100.

el gemme. — Le rendement du sel gemme n'était en 1847-48 que de 257.647 quintaux représentant une valeur estimative de 230.804 florins, et s'est élevé en 1856-57 à 446.609 quintaux valant 378.963 florins, soit une augmentation de production de 93 1/2 p. 100 dans ces dix années.

Il a été constamment employé à cette exploitation une centaine d'ouvriers.

La valeur totale de la production minière en 1856-57, en minerai, argile salifère et sel gemme, se monte à 523.425 florins, tandis qu'en 1847-48 elle n'était que de 320.846 florins.

L'exploitation des salines comprend le sel de cuisine, le sel à l'usage du bétail et le sel pour l'agriculture. Salines.

En 1847-48, il a été produit par quatre établissements de l'État, avec 325 travailleurs, une quantité collective de 568.284 quintaux de sel, estimés 1.565.455 florins.

Cette branche d'industrie a été en déclinant successivement dans l'espace de dix ans au point de n'être plus, en 1856-57, que de 445.807 quintaux, valant 1.047.605 florins et n'occupant plus que 142 ouvriers.

Ainsi la production des salines a diminué pendant cette période de 22 p. 100, diminution qu'il y a lieu d'attribuer tant à l'accroissement de la consommation du sel gemme qu'à la diminution de l'exportation du sel en Suisse.

L'industrie métallurgique s'est livrée pendant cette période décennale à la production de la fonte ordinaire (roheisen), de la fonte à acier (Stahlroheisen), de la fonte de deuxième fusion; elle a fabriqué du fer doux, de la tôle, du fil de fer, des marmites en fer battu, ainsi que de l'acier, soit de forge soit fondu, de l'acier raffiné, et enfin tous les produits manufacturés pour lesquels on emploie l'acier, tels que faulx, faucilles, lames, hache-pailles. Usines.

La production totale de l'industrie métallurgique représentait en 1847-48 une valeur estimative de 2.163.466 florins, et occupait 1.046 travailleurs. En 1848-49, cette production a subi une diminution considérable et ne comportait plus que 1.939.161 florins, avec 947 ouvriers; puis, se relevant, elle a été sans interruption en augmentant jusqu'en 1856-57, où elle a atteint une valeur de 4.060.582 florins, en employant 1.729 ouvriers. L'augmentation de la valeur des produits métallurgiques à cette dernière époque, comparée aux résultats de l'année 1847-48, a été de 88 p. 100.

La fabrication du fer a lieu en partie par l'État et en partie par l'industrie privée; mais celle de la fonte dans les hauts-fourneaux appartient exclusivement à l'État.

La valeur totale de la production générale des mines, salines et usines se montait, en 1847-48, à 4.049.767 florins, avec 1.925 ouvriers, et s'est successivement élevée depuis cette époque jusqu'à 5.629.672 florins, avec 2.705 travailleurs.

La plus-value de la production a donc été, pendant les dix années, de 39 p. 100, et le nombre des ouvriers s'est accru de 40 p. 100, c'est-à-dire dans la même proportion.

[illegible] 3° des salines, 4° des usines métallurgiques exploitées [illegible] du 1er juillet 1847 au 30 juin 18[illegible].

EXERCICES	[illegible] NATURE	Quantité [illegible] en quintaux [illegible]	Valeur [illegible] sur les lieux de production ou d'origine	Nombre d'ouvriers employés	2° SALINES. PRODUITS. NATURE	Quantités représentées en poids de 100 livres ou quintaux de Cologne.	Valeur estimative en numéraire sur les lieux de production.	Nombre d'ouvriers employés.
		quintaux	florins			Quintaux.	florins.	
1847-48	Minerai de fer	410 [illegible]	79.419	416	Sel de cuisine	533.967	1.497.939,00	325
	Schiste vitriolifère (vitriolschiefer)	2,870	813	6	Sel de bétail	27.464	64.019,00	
	Gypse accompagné de sel (salzgyps), argile salifère, hallerde	55.944	9 814	30	Sel d'engrais	6 853	3.497,00	
	Sel gemme	257.617	230.804	102				
	Totaux	730.794	320.849	554	Totaux	568.284	1.565.455,00	
1848-49	Minerai de fer	478.185	87.984	426	Sel de cuisine	470 899,63	1.326.420,00	317
	Schiste vitriolifère	3.050	866	6	Sel de bétail	22.833,00	55.062,00	
	Gypse accompagné de sel et argile salifère	31.882	9.102	30	Sel d'engrais	7.6[illegible]4,00	3.851,00	
	Sel gemme	234.980	203.511	102				
	Totaux	748.106	301.363	564	Totaux	500.896,63	1.385.333,00	
1849-50	Minerai de fer	438.402	83.292,00	426	Sel de cuisine	451.848,61	1.274.898,38	318
	Schiste vitriolifère	2.000	[illegible]	5	Sel de bétail	23.785,25	58 440,24	
	Gypse accompagné de sel (salzgyps)	36.265	[illegible]	[illegible]	Sel d'engrais	8.455,00	4.602,05	
	Sel gemme	[illegible]	[illegible]	[illegible]				
	Totaux	[illegible]	[illegible]	[illegible]	Totaux	[illegible]	[illegible]	

	Sel gemme	[illegible]	[illegible]	[illegible]				
	Totaux	773.890	353.675,00	355	Totaux	445.177,40	1.2[illegible].164,00	
1851-52	Minerai de fer	428.364	80.033,00	378	Sel de cuisine	379.842,58	1.134.931,08	
	Schiste vitriolifère	21.171	3.231,00	22	Sel de bétail	19.245,62	47.717,09	282
	Gypse accompagné de sel	34.978	6.136,30	22	Sel d'engrais	5.171,00	1.326,48	
	Sel gemme	309.831	323.610,26	104				
	Totaux	789.344	413.010,56	526	Totaux	404.259,20	1.183,976,45	
1852-53	Minerai de fer	429.677	73.766,00	383	Sel de cuisine	387.638,21	1.091.051.22	
	Schiste vitriolifère	28.977	3.623,00	26	Sel de bétail	16.650,77	40.916.02	727
	Gypse accompagné de sel	36.917	6.476,00	22	Sel d'engrais	5.574,00	1.431,48	
	Sel gemme	308.066	313.084,00	111				
	Totaux	803.637	396.949,00	542	Totaux	409.862,98	1.133 398,72	
1853-54	Minerai de fer	498.160	89.284,00	412	Sel de cuisine	393.095,60	1.007.924.16	
	Schiste vitriolifère	22.641	2.9 2,00	22	Sel de bétail	13.751.80	34.133,41	258
	Gypse accompagné de sel	36.011	6.317,40	23	Sel d'engrais	4.013,00	1.033.48	
	Sel gemme	402.525,55	366,078,56	113				
	Totaux	959.337,55	464,591,96	570	Totaux	410.860,40	1 043 091,05	
1854-55	Minerai de fer	659.186	112.910,00	518	Sel de cuisine	422.757,81	1.119.046,32	
	Schiste vitriolifère	2.648	794,00	5	Sel de bétail	14.598,20	35 674,57	260
	Gypse accompagné de sel	50.928	8 936,30	24	Sel d'engrais	4,823,00	1.258,18	
	Sel gemme	400.210,26	382.115.33	111				
	Totaux	1.112.972,26	504,865,63	658	Totaux	441.979,01	1.155.979,07	
1855-56	Minerai de fer	744.425	130.969,00	580	Sel de cuisine	438.657,98	1.119.627,59	
	Schiste vitriolifère	»	»	»	Sel de bétail	16.738.21	37.782,34	248
	Gypse accompagné de sel	68.894	12.086.40	26	Sel d'engrais	5.801,00	1.509,33	
	Sel gemme	388,890.17	349.985.18	106				
	Totaux	1.202.209,17	493.040,58	712	Totaux	461.197,19	1.158,919,26	
1856-57	Minerai de fer	790,584	130.443,00	601	Sel de cuisine	426 910,46	1.017.177,38	
	Schiste vitriolifère	«	»	»	Sel de bétail	12.698,91	29.288,38	242
	Gypse accompagné de sel	79.907	14 018,50	29	Sel d'ongrais	6.198,00	1.598,48	
	Sel gemme	446.600	378.963,28	104				
	Totaux	1.317.091	523.424,78	787	Totaux	445.807,37	1.048.064.24	

État récapitulatif du développement de l'industrie métallurgique en Wurtemberg, pendant la période décennale 1847-57.

3° USINES.

EXERCICES.	PRODUIT des hauts-fourneaux et fonderies. Fer de gueuse et de fonte. (Roheisen et gresseisen.)	Fabrication d'ouvrages en fonte des hauts-fourneaux et par deuxième fusion.	Valeur estimative.	PRODUIT de la fabrication du fer en barres (stabeisen). Fer en barres.	Tôle.	Fil de fer.	Marmites.	Valeur estimative.	PRODUIT de la fabrication de l'acier et objets en acier. Acier de forge.	Acier fondu.	Acier raffiné.	Fabrication d'objets en acier, tels que faux, faucilles, lames de hache-paille.	Valeur estimative.	TOTAL GÉNÉRAL de la production par année. VALEUR.	Nombre d'ouvriers employés.
	quintaux.	quintaux.	quintaux	quintaux.	qx.	quint.	quintaux.	quintaux.	qx.	qx.	qx.	pièces.	florins.	florins.	
1847-48	163.988	95.096	920.009	91 488	1178	2.600	973,26	931.848	4.107	»	5.798	250.969	311.609	2.163 466,00	1046
1848-49	155.620	83.732	846.576	78.345	551	3 060	869,58	795 082	4.036	»	5.456	242.004	299.503	1.939.161,00	974
1849-50	135.314	70.306	726.763	86 595	740	4.625	1 094,46	867.695	3.821	»	5.680	245.510	294.191	1.960.659,46	899
1850-51	149.276	74 680	763 878	95 364	455	6.180	1 335,68	936.690	4.535	»	5.879	265.353	316 6.3	2 017.201,14	1074
1851-52	164.156	84.973	833.201	96.045	482	7.700	1.381,46	938.540	5.436	»	6.284	268.453	340.126	2.111.567,01	1087
1852-53	158.011	95.954	813.781	96.376	384	8 580	1.237,14	925.947	6.314	»	7.200	277.444	377.779	1.117.518,14	1088
1853-54	187.808	155.076	993.462	95.624	433	8.760	1.174,20	941 466	6.824	»	8 057	469.176	439.310	2.374.238,36	1147
1854-55	217.753	118 628	1.191.962	106.781	643	10 750	1.200,94	1.138.947	7.216	250	9.188	457.830	516 351	2.847.260,08	1336
1855-56	224.554	1.0.878	1.307.705	115.763	522	16.700	1.284,62	1.351.865	7.368	300	9.439	462.899	512.964	3 172.554,45	1457
1856-57	232.901	147.696	1.542.808	146.438	637	23.600	1.305,50	1.969.733	7.704	350	9.934	510.426	556.040	4.060.382,72	1729

État récapitulatif de la valeur de la production générale des mines, salines et usines métallurgiques exploitées dans le royaume de Wurtemberg, pendant la période décennale du 1er juillet 1848 au 30 juin 1857.

EXERCICES.	MONTANT de la production en monnaie du pays	NOMBRE d'ouvriers.	OBSERVATIONS.
	florins.		
1847-48	4.049.767	1925	La conversion en monnaie de France a été calculée au taux fixe de 2f.15 le florin de 60 kreutzer, soit le franc à 28 kreutzer.
1848-49	3.625.867	1855	
1849-50	3.612.584	1881	
1850-51	2.609 041	1923	
1851-52	3.708.853	1895	
1852-53	3.647.868	1907	
1853-54	3.881.912	1975	
1854-55	4.508.105	2254	
1855-56	4.824.515	2417	
1856-57	5.629.672	2705	

Renseignements sur une huile minérale recueillie à la surface du sol sur les bords de la rivière Alleghany (États-Unis).

Il existe sur les marchés des États-Unis une huile connue sous le nom de *seneca oil*, qui n'est autre que l'huile extraite du charbon de terre bitumineux et dont on se sert pour l'éclairage, le graissage des machines, etc., etc. Indépendamment de celle que l on obtient par les moyens chimiques, cette huile se recueille encore sur divers points ouest de la rivière Alleghany, dans les comtés de Crawford, Warren et Venango, où elle s'élève par une sorte d'exsudation à la surface de la terre. On en emploie une partie sur les lieux à différents usages; le reste, en petite quantité, se livre aux marchés lointains sous le nom de *seneca oil*.

Les comtés limitrophes des régions qui produisent le charbon bitumineux au nord-ouest de cet État viennent d'être livrés à l'étude et à la spéculation par suite de l'ouverture du nouveau chemin de fer *Sunbury and Erie rail road*, qui les met pour la première fois en relation directe et incessante avec Philadelphie. Aussi s'est-on préoccupé des ressources qu'offrent ces nouvelles régions, et, après d'actives recherches, on y a découvert une source de richesse nouvelle pour le pays.

Géologiquement, les comtés du nord-ouest se trouvent sous les régions à charbon. Ce terrain est composé de grès et de schiste contenant de nombreuses couches de matières charbonneuses, mais trop schisteuses pour l'exploitation. Il contient également le drainage de tout le système bitumineux; certaines couches se trouvent, à la lettre, saturées d'huile.

Comme je l'ai dit plus haut, cette huile montant à la superficie donna l'idée de creuser ces mêmes sources qui produisent aujourd'hui des quantités considérables d'une huile de même nature que celle distillée du meilleur charbon bitumineux de Pensylvanie, de l'Ohio, du Kentucky, etc. Un échantillon de cette huile, pris dans la couche de Warren, vient d'être analysé et a donné par la distillation 41 p. 100 d'une huile pâle, limpide et de qualité supérieure; 44 p. 100 d'une huile jaune, rougâtre, de seconde qualité; 12 p. 100 d'une huile épaisse avec paraffine et un léger résidu de coke.

Dans le comté de Venango, des puits plus considérables encore ont été ouverts, et l'on parle d'une source située dans le comté de Crawford, qui donne 600 gallons par jour. Ce puits est creusé à 90 pieds de profondeur.

En annonçant la découverte de ce nouveau produit, les journaux qui la signalent prétendent qu'elle est tout à fait nouvelle et que les mines de charbon de l'Europe n'ont jamais donné de pareils résultats. Sans savoir si cette assertion est tout à fait exacte, j'ai cru qu'il ne serait pas sans intérêt de la signaler.

(*Extrait d'une dépêche de* M. de Laforest, *consul de France.* — Philadelphie, 10 décembre 1859.)

Sur la production métallique du Chili.

Le sol du Chili se divise en deux zones bien distinctes par rapport à la production. La partie sud offre un vaste champ à l'exploitation agricole; la partie nord ne présente pas moins de ressources au travail industriel. Pour mieux dire, c'est la zone méridionale qui produit les céréales, tandis que la septentrionale renferme les métaux.

La partie de la province d'Atacama, qui s'étend le long des côtes de l'océan Pacifique, depuis le port de Caldara jusqu'aux limites qui séparent le Chili de la Bolivie, est surtout riche en gisements métallargiques.

Voici les renseignements que j'ai pu me procurer sur l'industrie minière de cette localité.

Minerais d'argent. — On les divise en quatres classes principales :

1° *Metales de plata blanca*, minerais d'argent natif. Cet argent est souvent très-pur, d'autres fois il est allié à un peu d'antimoine, de cuivre ou de bismuth; il contient assez fréquemment de l'or.

2° *Metales de plata mercurial*, mineral d'amalgame natif. Ce minerai ne se rencontre que dans un petit nombre de mines; parfois très-riche, il est le plus souvent pauvre, mais il se présente toujours en grande abondance; son extraction est facile.

3° *Metales calidos*, minerais d'argent chloruré et bromurés, d'ordinaire accompagnés d'argent natif, rarement avec iodure, quelquefois riches; ils se trouvent près de la superficie des filons.

4° *Metales frios*, minerais sulfurés. On les rencontre en plus grande abondance à mesure que l'on gagne de la profondeur; il y a cependant des mines qui en produisent dès la surface. Ce mineral ne contient que par exception et toujours en minime quantité du plomb ou du zinc; il forme des mélanges de sulfures simples, doubles, multiples, où l'argent est allié habituellement à l'arsenic, à l'antimoine, au fer, au cuivre, quelquefois au bismuth, plus rarement au cobalt et au nickel, souvent à l'or, mais en petite proportion.

La production totale de l'argent peut être évaluée à 100.000 kilogrammes par an, soit à 435.000 marcs de 230 grammes le marc, et si ce chiffre n'est point dépassé, un seul obstacle s'y

oppose, c'est le manque d'usines pour traiter les metales frios. Ceux-ci, en effet, augmentent chaque jour; or on ne connaît à Copiapo qu'un seul mode d'amalgamer, mode, il est vrai, économique et rapide, mais auquel résiste tout ce qui est combiné au soufre, et qui laisse, par suite, des résidus. Ces résidus, en général riches, sont connus sous le nom de *relaves*. Il en résulte la nécessité d'exporter les minerais sulfurés; or cette exportation exige avant tout une teneur en argent pour faire face aux frais de chargement et d'expédition sur navires à voiles. Il en est autrement de l'argent extrait par amalgamation; on profite pour l'expédier des facilités des vapeurs qui font deux fois par mois le service de la correspondance; seulement ces bateaux sont anglais, et ils ne se chargent du transport des lingots qu'à la condition expresse de les vendre à la banque de Londres.

Par le fait d'un semblable état de choses, il arrive que les mines d'argent les plus pauvres sont toujours exploitées dès qu'on peut en faire traiter le minerai par le système connu d'amalgamation, et que les mines qui donnent des produits rebelles au procédé en usage ne sont exploitées, au contraire, que dans le cas où le minerai est suffisamment riche pour permettre de l'exporter.

Minerais d'or. — La production de l'or au Chili a tellement diminué d'une part, et d'autre part la Californie et l'Australie jadis accoutumées à porter ici leur métal, en échange des sels qu'elles produisent maintenant chez elles, ont si fort ralenti leurs envois que la monnaie de Santiago a dû se faire expédier cette année des lingots de Londres. Il y a cependant dans ce pays, et surtout dans les environs de Copiapo, des minerais qui contiennent de l'or, rebelles à l'amalgamation usitée, mais que l'on pourrait traiter en même temps que les minerais d'argent sulfurés, s'il y avait une usine où l'on s'occupât de ces derniers. Ce qu'il y a d'intéressant, c'est que l'extraction ne coûterait rien; ce métal se concentrerait en effet dans les lingots d'argent que l'on enverrait tels quels à Paris, où le raffinage s'opère avec tant d'économie que l'on a du bénéfice à faire affiner des matières qui ne contiennent qu'un millième d'or.

Cuivre. — On peut évaluer à 20.000 tonnes de cuivre par la production annuelle du Chili dans les circonstances actuelles; ce cuivre s'exporte sous trois formes :

1° Lingots de cuivre noir fournis surtout par les usines des

provinces d'Aconcagua et de Valparaiso, où l'on fond encore au bois de 96 à 98 p. 100 de cuivre pur;

2° *Mabbes* d'une teneur de 47 à 50 p. 100; on en fait dans les provinces de Coquimbo et d'Alacama, par la fonte des minerais de cuivre pauvres, d'une teneur moyenne supérieure à 10 p. 100 de cuivre;

3° Minerais bruts d'une teneur d'environ 25 p. 100, quelquefois plus. Dans la province d'Atacama, on exploite les mines de cuivre depuis bien des années, mais on a dû cesser le travail de celles qui ne fournissaient que des minerais trop pauvres pour être exportés, lorsqu'on eut épuisé les bois rabougris que la sécheresse du pays ne permet pas de renouveler.

En 1854, l'établissement du chemin de fer de Caldera à Copiapo, prolongé depuis jusqu'aux mines de Chanarcillo, en rendant facile et peu coûteuse l'introduction du charbon, a permis par cela même de reprendre et de pousser avec activité le travail des mines de cuivre. Elles trouvent à vendre leurs minerais pauvres aux fonderies qui se sont établies à Caldera, à Copiapo, Tierra amarilla, Sunta del Cabre, etc., etc.

L'industrie des mines de cuivre a pris dernièrement un essor nouveau par le travail des mines du désert d'Atacama, dont les principales, au nombre de 233, sont concentrées dans les mains d'un seul mineur connu sous le nom de Manco Mareno. En très-peu d'années, celui-ci est parvenu à réaliser plusieurs millions de piastres, et son exemple a déterminé d'autres personnes à se lancer dans le désert.

L'argent en barres, les minerais d'argent, les lingots de cuivre, les minerais de mables et autres produits des mines et usines de la province d'Atacama, sont, comme je l'ai dit plus haut, portés en Angleterre. Nos industriels sont trop timides pour aventurer leurs capitaux au loin; c'est ce qui nous rend tributaires de nos voisins pour les matières premières indispensables à nos fabriques. Tout porte à croire cependant que si quelque compagnie française puissante venait à s'établir dans ces parages, elle y trouverait des profits non douteux.

(*Renseignements adressés à M. le ministre des affaires étrangères par M.* Limperani, *consul général et chargé d'affaires de France à Santiago du Chili.* — 31 décembre 1859.)

[redacted]

De la production des métaux dans la Grande-Bretagne, en 1858, et dans quelques autres contrées.

Ainsi que nous le rappelions récemment (1), M. Robert Hunt, *Keeper of mining records* du *Geological survey, etc.*, est annuellement chargé de publier une statistique très-détaillée de l'industrie minérale du Royaume-Uni. Nous voudrions aujourd'hui extraire, du premier des deux volumes consacrés à l'année dernière (le seul paru au moment où nous écrivons), des renseignements propres à faire connaître le développement qu'a maintenant acquis l'industrie métallurgique de l'Angleterre. Nous y joindrons quelques documents relatifs à la production des métaux dans plusieurs pays, pour lesquels M. Robert Hunt a pu se procurer des données statistiques ou que nos recherches personnelles nous permettent de considérer.

---

(1) Dans le précédent Bulletin (t. XV, p. 583), où nous avons tenté de résumer les éléments essentiels du commerce de la houille pour l'année 1858; nous avions dû, en l'absence de documents officiels, nous borner, relativement à la France, à faire une hypothèse sur l'importance de la production et de la consommation. Nous avions emprunté à une publication du comité des houillères françaises, qu'il y avait tout lieu de croire bien informée en semblable matière, des chiffres (p. 592) qui se trouvent bien inférieurs à la réalité, — comme l'a montré la publication du rapport adressé à l'Empereur par le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, sur les voies de communication propres à faciliter le transport de la houille sur les lieux de consommation (*Moniteur* du 28 février 1860). Nous croyons donc devoir reproduire ici les chiffres officiels, relatifs à l'année 1857 :

1. Bassin de la Loire	22.426.000	q. m.
2. — de Valenciennes	19.600.000	
3. — d'Alais	7.540.000	
4. — du Creusot et de Blanzy	5.806.000	
5. — de Commentry	4.845.000	
6. — d'Aubin	4.635.000	
7. — d'Aix	1.620.000	
8. — d'Épinal	1.600.000	
9. — de Brassac	1.300.000	
10. — du Maine	900.000	
11. — de la Loire-Inférieure	900.000	
12. — de Decize	900.000	
13. — de Graissessac	500.000	
14. — de Saint-Eloi	450.000	
Autres bassins, au nombre de 40	5.978.000	
Production totale	79.000.000	
Consommation correspondante	131.494.700	

GRANDE-BRETAGNE.

FER.

M. Hunt annonce que tous les détails relatifs à la statistique de l'industrie du fer de la Grande-Bretagne ont été établis, en 1858, avec plus d'exactitude encore que pour les années précédentes, et peuvent, en conséquence, être regardés comme aussi authentiques que possible.

Production du minerai de fer en 1858.

COMTÉS (nature du minerai).	QUANTITÉS.	VALEURS.
	q. m.	fr.
Cornwall (hématite brune, fer spathique, fer magnétique)	560.324	499.718
Devonshire (hématite brune)	48.301	56.435
Somersetshire (hématite, fer spathique, fer carbonaté argileux)	264.577	326.518
Gloucestershire (hématite)	1.093.744	1.211.085
Wiltshire (oxyde hydraté)	99.792	116.636
Hampshire (minerai argilo-sableux)	70.430	71.923
Northamptonshire, etc. (oxyde hydraté)	1.427.328	875.031
Warwickshire (fer carbonaté argileux)	299.720	276.500
Oxfordshire	»	»
Staffordshire (Nord) (oxyde hydraté, fer carbonaté argileux)	7.111.369	6.124.450
Staffordshire (Sud) (fer carbonaté argileux)	9.743.440	8.266.250
Shropshire (fer carbonaté argileux)	1.529.080	953.375
Derbyshire (fer carbonaté argileux et peroxyde de fer)	3.342.132	2.055.925
Yorkshire (fer carbonaté argileux, carbonate de protoxyde de fer)	15.820.593	6.384.123
Northumberland et Durham (hématite, fer carbonaté argileux)	212.587	234.401
Cumberland (hématite)	3.542.162	4.686.958
Lancashire (hématite)	4.455 627	5.755.916
Galles du Nord (hématite, fer carbonaté argileux)	899.932	1.149.500
Galles du Sud (hématite, fer carbonaté argileux)	7.642.667	6.434.893
Ecosse (blackband, hématite, fer carbonaté argileux)	23.489.920	18.750.000
Irlande (blackband)	36.576	29.250
Ile-de-Man (hématite)	5.751	5.661
ROYAUME-UNI	81.696.054	64.267.548

Nombre des hauts-fourneaux en 1858.

COMTÉS.	USINES.	NOMBRE des hauts-fourneaux	
		existants.	en feu.
Northumberland	8	18	6
Durham	15	53	44
Yorkshire (North riding)	9	30	20
Yorkshire (West riding)	13	23	24
Lancashire	3	4	2 1/2
Cumberland	5	9	5
Derbyshire	15	34	28
Shropshire	13	32	25
Staffordshire (Nord)	7	27	22
Staffordshire (Sud) et Worcestershire	64	188	147
Northamptonshire	2	3	3
Gloucestershire	5	10	4
Somersetshire	1	2	1
Wiltshire	2	4	1
ANGLETERRE	162	444	332 1/2
Denbighshire	8	18	6
Glamorganshire (anthracite)	5	20	7 2/3
Glamorganshire (houille grasse)	20	89	78
Brecknockshire (anthracite)	2	7	6
Brecknockshire (houille grasse)	3	16	14
Caermarthenshire (anthracite)	3	7	1
Pembrockshire (anthracite)	1	2	1
Monmouthshire (houille grasse)	15	53	40
GALLES	57	212	153 2/3
Ayrshire	9	50	32
Lanarkshire	13	97	81
Fifeshire	3	12	8
Linlithgowshire	1	4	4
Stirlingshire	2	7	5
Clackmannanshire	1	3	0
Dumbartonshire	1	2	0
Haddingtonshire	1	1	1
Argyleshire	1	1	1
ÉCOSSE	32	177	132
ROYAUME UNI	251	833	618

Production de la fonte en 1858.

Northumberland	460.370 q. m.
Durham	2.694.269
Yorkshire (North riding)	1.923.491
Yorkshire (West riding)	873.110
Lancashire	28.854
Cumberland	266.842
Derbyshire	1.336.822
Shropshire	1.026.323
Staffordshire (Nord)	1.374.729
Staffordshire (Sud)	6.073.739
Northamptonshire	99.060
Gloucestershire	239.573
Wiltshire et Somersetshire	20.726
Galles du Nord	286.004
Galles du Sud (anthracite)	515.864
Galles du Sud (houille grasse) (1)	8.490.753
Écosse	9.403.080
Royaume-Uni	35.113.809
— 1857	37.176.782
Différence	—2.062.973

La valeur de la fonte au haut-fourneau peut être estimée, en 1858, à 7f,44 par quintal métrique, ce qui donne à la fonte produite dans tout le Royaume-Uni une valeur de 259.204.800 francs.

Le prix moyen du quintal métrique de fonte (qualités mélangées) a d'ailleurs été :

	fr.
Écosse	7,10
Durham	7,81
Cleveland	6,76
Yorkshire	8,06
Staffordshire	7,07
Galles	9,30
Prix moyen (déduit de toutes les ventes de l'année et attribuant à la fonte fabriquée une valeur de 267.844.950 fr.)	7,69

La publication du *Geological survey* fait connaître, pour 14 années (1845-1858), mais pour l'Écosse seulement, le

---

(1) Glamorganshire	4.582.597 q. m.
Brecknockshire	706.496
Monmouthshire	3.201.660
Total égal	8.490.753
Total des Galles du Sud	9.006.617

nombre des hauts-fourneaux en feu, la production, l'exportation et la consommation de la fonte qu'ils ont produite, et, pour 11 années (1848-1858), l'exportation du fer de la même région. En l'absence de renseignements du même ordre sur les autres parties du Royaume-Uni, nous nous bornerons à emprunter à M. Hunt les quantités de fer envoyées d'Écosse en France durant ces dernières années.

1848	59.528 q. m.	1854	316.921 q. m.
1849	86.360	1855	685.058
1850	106.680	1856	614.985
1851	108.204	1857	687.965
1852	185.725	1858	582.191
1853	297.180		

Nous relèverons également, en raison de l'intérêt commercial qu'un tel document peut présenter aujourd'hui, les indications suivantes sur les prix du quintal métrique de fonte d'Écosse en 1858 et dans la période des douze années antérieures, — tout en faisant observer combien il est regrettable que les *Mineral statistics* ne contiennent absolument rien sur le prix du fer dans le Royaume-Uni.

1858	Numéros mélangés.	n° 1	n° 3
	fr.	fr.	fr.
Moyennes.	6,73	6.63	6,54
Maximas (mars)	7,05	7,05	6,91
Minimas (juin et juillet). . .	6,51	6,39	6,25

Période de douze ans (1847-1858).

	fr.
Prix minimum moyen (1854)	9,86
Prix minimum moyen (1851)	4,96
Prix minimum (juin 1854).	10,97
Prix minimum (février, mars et avril 1852) . . .	4,43

Exportation partielle du fer en 1858.

	FONTE.	FER.					
		Barres.	Rails.	Ancres.	Chaînes.	Tuyaux	Totaux.
	q. m.	q. m.	q. m.	q. m.	q. m.	q. m.	q. m.
Angleterre. . .	1.069.259	1.805.351	661.833	9.256	31.709	69.423	2.577.572
Galles.	22.088	314.269	1.907.672	»	»	»	2.221.941
Écosse.	1.847.830	143.520	23.520	»	»	»	167.040
Royaume-Uni.	2.939.177	2.263.140	2.593.025	9.256	31.709	69.423	4.966.553

Le tableau auquel nous empruntons ce résumé fait bien connaître les ports anglais de provenance (qu'il nous a semblé inutile d'indiquer), mais ne donne aucun renseignement sur les pays destinataires. Il est d'ailleurs incomplet, comme le montre le tableau général de la page 568, où les mêmes éléments sont groupés d'une autre manière.

Il est à peine besoin de dire que l'importation étrangère, confondue avec l'importation coloniale dans les *Mineral statistics*, est à peu près nulle en Angleterre.

Voici des chiffres relatifs à la dernière période triennale :

Années.	Fer en barres non travaillé.	Acier brut.
	q. m.	q. m.
1856	527.355	11.246
1857	509.666	20.625
1858	258.714	18.167

CUIVRE.

On connaît la complication du commerce de ce métal en Angleterre (1). De nombreux renseignements sont contenus à ce sujet dans l'ouvrage de M. Hunt, mais il est impossible de les reproduire ici. Il suffira, pour convaincre le lecteur de cette impossibilité et lui faire connaître en même temps le genre d'indications auxquelles, en cas de besoin, il pourrait recourir, de résumer rapidement les titres des tableaux variés qui occupent une douzaine de pages des *Mineral statistics*.

CORNWALL ET DEVONSHIRE.

Production des mines de cuivre dont les propriétaires ont adressé leurs relevés au *Stannary court*, pour la période écoulée du 29 septembre 1857 au 29 septembre 1858 (noms des mines par district, quantité du minerai extrait de chacune d'elles, valeur en argent).

	Mines.	Quint. mét. de minerai.	francs.
Cornwall (en quatre districts)	138	1.437.961	20.774.569
Devonshire	19	369.140	4.894.102
Totaux	157	1.807.101	25.668.671

Mines de cuivre vendant des minerais aux enchères (*by public*

---

(1) Voir, dans les *Annales des mines* (4e série, tome XIII, page 389) le beau travail de M. Le Play sur la métallurgie du cuivre dans le pays de Galles.

ticketing), en 1858 (noms des mines par district, quantités du minerai vendu par chacune d'elles et du cuivre y contenu, teneur moyenne en métal du minerai de chaque mine, valeur en argent du métal) :

RÉGIONS.	NOMBRE des mines	MINERAI.	MÉTAL.	TENEUR du minerai.	VALEUR du métal.
		q. m.	q. m	pour 100.	fr.
Cornwall.	103	1.477.498	97.851	7	21.350.145
Devonshire.	20	356.220	21.379	5 1/2	4.804.675
Divers (ventes en petites quantités) . . .	»	19.375	981	»	283.551
Totaux et moyenne.	123	1.853.093	120.211	6 1/2	26.438.371

Achats de différentes compagnies de cuivre aux enchères du Cornwall, en 1858 (noms de treize acheteurs, quantité du minerai acheté par chacun d'eux et du cuivre obtenu, teneur moyenne en métal du minerai fondu dans chaque usine, valeur en argent du métal). — Les totaux sont naturellement les mêmes que ceux du tableau immédiatement précédent.

SWANSEA.

Minerais de cuivre extraits des mines irlandaises, anglaises et galloises, coloniales et étrangères, vendus publiquement en 1858 (noms des mines, quantités du minerai acheté et du cuivre y contenu, teneur moyenne en métal du minerai de chaque mine, valeur en argent du métal).

RÉGIONS.	MINERAI.	MÉTAL.	TENEUR du minerai.	VALEUR du métal.
	q. m.	q. m.	pour 100.	fr.
Irlande.	106.893	10.526	10 7/8	2.408.602
Angleterre et Galles	32.705	4.015	14 1/8	945.556
Etranger et colonies. . . .	225.420	36.889	14	8.771.278
Régule (sic)	2.875	808	24 1/8	200.018
Diverses	10.039	891	—	194.676
Totaux et moyennes. . .	377.932	53.129	14	12.520.130

Achats de différentes compagnies de cuivre aux enchères de Cornwall, en 1858 (noms de onze acheteurs, quantités du mi-

neral acheté par chacun d'eux et du cuivre obtenu, teneur moyenne en métal du minerai fondu dans chaque usine, valeur en argent du métal). — Les totaux sont naturellement les mêmes que ceux du tableau immédiatement précédent.

Minerais de cuivre vendus par contrats privés et dont les relevés ont été fournis par les propriétaires des mines (noms des mines, quantités du minerai vendu et du cuivre y contenu, valeur en argent).

Minerais de cuivre qu'ont achetés par contrats privés différentes compagnies de cuivre (noms de sept acheteurs, quantités du minerai acheté et du cuivre obtenu).

Les renseignements fournis par ces deux derniers tableaux étant incomplets, il n'y a aucun intérêt à en donner le résumé.

Moyennes hebdomadaires du prix du quintal métrique de cuivre fin sur le marché de Swansea, en 1858.

	fr.
Maximum	312,64
Minimum.	243,17
Moyenne	268,25

Production du cuivre, en 1858, *dans le Royaume-Uni.*

	Nombre de mines.	MINERAI. Quantités.	MINERAI. Valeur.	MÉTAL. Quantités.	MÉTAL. Valeur.
		q. m.	fr.	q. m.	fr.
Ventes des comtés de Cornouailles et de Devon.	123	1.853.093	26.438.350	120.203	»
Ventes de Swansea. .	13	152.502	3.751.350	16.236	»
Achats par contrats privés. Ile de Man.	6	127.041	2.025.600	4.928	»
Achats par contrats privés. Cumberland..	4	36.678	675.300	2.195	»
Achats par contrats privés. Cheshire . .	1	81.351	362.775	1.240	»
Achats par contrats privés. Irlande . . .	5	39 401	97.500	1.362	»
Achats par contrats privés. Divers . . .	12	14.752	62.500	711	»
Totaux	164	2.304.818	33.413.375	146.875	39.067.325
Totaux pour 1857. .	163	2.221.972	39.023.050	176.529	53.863.625
Différence. . .	1	82.946	—5.609.675	—29.644	—14 796.300

Production totale, en 1858, *du cuivre provenant des minerais de la Grande-Bretagne, de l'étranger et des colonies.*

Minerais vendus aux enchères de Cornwall	120.211	q. m.
Id. à Swansea.	53.130	
Id. par contrats privés (nombre exact)	137.889	
Id. id. (nombre approximatif).	9.936	
Total	321.166	
Valeur.	85.428 725	fr.
Prix moyen du quintal métrique	266	fr.

Importation du cuivre en 1858.

PAYS DE PROVENANCE.	MINERAI de cuivre.	RÉGULE.	CUIVRE brut, en briques et saumons.	vieux.	en partie travaillé, en barres, etc.	feuilles et monnaie, etc.	ouvré.	Totaux.
Chili	327.853	163.170	15.291	112	9.245	»	»	24.648
Cuba	149.636	»	»	»	»	»	»	»
Espagne	62.148	51	2.215	335	572	»	7	3.129
Victoria (Australie)	56.053	508	9.317	162	2.144	417	»	12.040
Possessions anglaises dans l'Afrique méridionale	37.507	»	70	335	10	»	»	415
Pérou	28.753	8.857	3.028	173	2.327	10	»	5.538
États-Unis de l'Amérique (ports de l'Atlantique)	24.018	12.070	173	447	5.801	30	4	6.455
Nouvelle-Galles du Sud	23.754	»	396	447	»	»	»	843
Bolivie	19.284	»	»	»	»	»	»	»
Algérie	17.394	»	»	»	»	»	»	»
Italie	11.501	»	»	315	»	864	»	1.179
Portugal	8.748	»	»	152	»	»	6	158
France	7.102	2.022	»	20	10	»	474	504
Australie méridionale	4.308	»	6.838	102	823	»	»	7.763
Indes anglaises occidentales et Guyane anglaise	4.206	»	10	274	»	»	»	284
Australie occidentale	2.997	193	»	»	»	»	»	»
Java	3.282	965	»	»	»	»	»	»
Nouvelle-Zélande	2.997	»	»	30	»	»	»	30
Colonies anglaises de l'Amérique du Nord	2.113	»	»	132	»	»	»	132
Côtes occidentales de l'Afrique	2.042	»	»	122	»	»	»	122
Norwége	1.046	»	»	51	792	»	»	843
Villes Anséatiques	437	1.829	71	2.708	549	21	15	3.364
Mexique	417	»	1.046	»	»	30	4	1.080
Hollande	10	254	»	1.890	»	»	1	1.891
Buenos-Ayres	»	»	1.280	»	1.737	»	»	3.017
Possessions turques, etc.	»	»	10	»	1.057	»	2	1.069
Divers	1.387	914	72	1.878	288	21	10.348	12.583
Totaux	798.993*	187.533*	39.817	9.672	25.240	1.463	10.861	78.754

* Dans un relevé du *Board of trade*, la somme de ces deux nombres est de 986.526 et correspond à une valeur réelle de 52.980.050 fr.

Exportation du cuivre métallique en 1858.

PAYS DESTINATAIRES.	MÉTAL brut, en briques et saumons.	MONNAIES.	Feuilles, clous et laiton.	Fils.	Cuivre ouvré d'autres sortes.	TOTAUX.
Territoires anglais dans les Indes orientales.	2.523	2.478	59.120	120	1.027	65.268
France.	34.787	»	1.534	34	370	36.722
Hollande.	10.109	»	14.368	19	174	24.670
Villes Anséatiques.	785	»	13.335	98	60	14.278
Belgique.	10.486	»	4.048	2	191	14.727
États-Unis d'Amérique (ports de l'Atlantique).	714	»	1.381	3	181	2.279
Italie.	3,805	»	'8.312	7	235	12.359
Maurice.	»	30	4.466	»	333	4.829
Turquie.	25	»	5.182	1	7.821	13.029
Établissements anglais en Australie.	94	58	3.983	6	466	4.607
Indes occidentales étrangères.	12	»	3.436	1	597	4.046
Brésil.	222	»	3.311	»	2.377	5.910
Portugal, Açores et Madère. .	»	»	2.311	2	170	2.483
Espagne et Canaries.	251	»	2.313	4	120	2.688
Iles de la Manche.	1	51	1.501	»	3	1.556
Chili.	»	»	1.468	»	84	1.552
Russie (ports du nord).	305	»	1.087	17	437	1.846
Chine (Hong-Kong compris). .	»	»	2.094	1	55	2.150
Prusse.	2.384	»	529	10	21	2.944
Égypte.	522	»	912	»	7.527	8.961
Indes occidentales anglaises.	»	2	1.984	1	1.518	3.505
Syrie et Palestine.	»	»	503	»	1.362	1.865
Colonies anglaises de l'Amérique du Nord.	15	»	1.457	6	87	1.565
Divers.	—	—	—	—	—	18.006
Totaux.	67.040*	2.619	138.632	332	25.216	251.845

* Suivant un relevé du *Board of trade*, ce nombre serait 68,367, correspondant à une valeur déclarée de 17.413.075 francs.

N. B. L'impossibilité de répartir le total (18.006 q. m.) de *Divers* (obtenu par différence) empêche de mettre, dans la dernière ligne horizontale, autre chose que des totaux incomplets, dont la somme n'est par conséquent point égale au total général.

PLOMB.

Ce métal a été l'objet d'une statistique très détaillée et fort intéressante, au point de vue industriel, dressée par M. J. G. Anderson, de Newcastle-sur-Tyne, et comprenant quatre séries de tableaux connexes relatifs à la période décennale 1848-1857, dont nous pouvons évidemment qu'indiquer ici les

titres pour ceux des lecteurs des *Annales des mines* qui voudraient y recourir.

Tableau n° 1, faisant connaître la quantité du minerai de plomb extrait, celle du plomb fabriqué, celle du minerai nécessaire pour produire 100 de métal et celle du métal contenu dans 100 de minerai, pour chaque année de la période sus-indiquée, ainsi que les totaux et moyennes annuels concernant l'Angleterre, les Galles, l'île de Man, l'Écosse et l'Irlande.

Tableaux n°s 2, 3 et 4, donnant les mêmes résultats, année par année, pour chaque district de l'Angleterre; pour chaque district des Galles; pour l'Angleterre, les Galles, l'île de Man, l'Écosse, l'Irlande, diverses régions et la totalité du Royaume-Uni. — Ces trois derniers tableaux fournissent ainsi le moyen de comparer une région avec elle-même, pendant les années de la période décennale considérée.

Nous nous sommes borné à extraire de cette volumineuse collection de tableaux les proportions relatives à l'année moyenne de cette période et les avons fait figurer dans le premier des tableaux que nous reproduisons ci-après.

Production du plomb en 1858.

COMTÉS.	Nombres de mines.	MINERAI.	MÉTAL.	PROPORTION de minerai nécessaire pour produire 100 de métal.	PROPORTION de métal contenu dans 100 de minerai.
		q. m.	q. m.		
Cornwall	34	98.654	55.237	151	66
Devonshire	12	28.238	17.223	163	61
Somersetshire	5	10.160	4.420	143	70
Shropshire	14	40.585	30.412	135	74
Derbyshire	»	106.335	63.774	134	77
Yorkshire	14	116.647	77.276	154	65
Westmoreland	6	22.255	17.005	137	73
Cumberland	77	73.514	52.910	144	69
Durham et Northumberland	36	203.191	170.448	146	69
ANGLETERRE	»	699.579	488.705	143	70
Caermarthenshire	3	13.499	9.493	138	72
Cardiganshire	30	72.000	55.272	139	72
Radnorshire	2	1.038	777	138	73
Montgomeryshire	14	20 070	15.199	148	70
Merionethshire	5	3 318	2.480	137	73
Denbigshire	10	48.260	37.879	129	77
Flintshire	34	37.557	28.845	135	74
Caernarvonshire	9	2.942	2.063	141	71
GALLES	107	198.684	152.008	137	73
Ile-de-Man	4	24.963	19.111	145	69
Ecosse	16	23.272	16.109	144	69
Irlande	30	26.452	17.323	151	66
Régions diverses (au-dessous de 100 quintaux)	»	953	711	135	74
ROYAUME-UNI	»	973.903	693.967	142	70
Valeurs (francs)	»	34.268.150	37.225.125	—	—
Production en 1857	»	685.201	»	»	»

Production du plomb durant la période décennale 1849-1858.

CONTRÉES.	MINERAI.	MÉTAL.	
		Totaux.	Proportions.
	q. m.	q. m.	
Angleterre.	6.629.136	4.643.090	70,4
Galles	1.935.541	1.429.990	21,5
Irlande.	299.903	198.699	2,8
Ecosse.	237.754	165.730	2,4
Ile de Man	275.743	193.447	2,9
ROYAUME-UNI.	9.378.077	6.630.956	100,00

Résultats donnés, en 1858, *par les ventes de Holywell.*

PRIX DU QUINTAL MÉTRIQUE.	MINERAI.	MÉTAL.
	fr.	fr.
Maximum.	43,63	58,31
Minimum	28.10 *	50,87
Moyen.	35,48	53,53

* Deux ou trois prix, exceptionnellement bas, ont été laissés de côté.

Résultats publiés, en* 1858, *par dix-neuf compagnies de fondeurs, ayant acheté* 268.684 *quintaux métriques de minerai et les ayant payés* 9.573.110 *francs.

	fr.
Prix maximum du quintal métrique.	**240,43**
Prix minimum.	**9,61**
Prix moyen	**42,39**

Ce maximum ne s'applique qu'à deux tonnes de minerai de plomb du Derbyshire (mine de *Huel Florence*), d'une richesse exceptionnelle en argent.

Importation de plomb en 1858.

PAYS DE PROVENANCE.	MÉTAL en feuilles ou saumons.	MINERAI.
	q. m.	q. m.
Espagne	128.382	3.099
France	6,340	3.282
Hollande	5 629	102
Portugal	1.321	406
Hanovre	1.036	70
Australie méridionale	»	9.378
Italie	244	2.306
Victoria (Australie)	31	1.941
Venezuela	»	1.849
Divers	669	»
Totaux	143.652	22.433
— 1857	129.723	»
— 1856	104.181	»

Exportation de plomb en 1858.

PAYS DESTINATAIRES.	SAUMONS, tuyaux, plomb de chasse.
	q. m.
Russie (ports du nord)	35.763
Etats-Unis d'Amérique (ports de l'Atlantique)	32.565
Etablissements anglais en Australie	29.454
Chine (Hong-Kong compris)	20.919
Territoires anglais de l'Inde orientale	23.236
France	888
Brésil	10.221
Colonies anglaises de l'Amérique du Nord	6.229
Indes anglaises occidentales	3.647
Cap de Bonne-Espérance	3.515
Java	2.927
Maurice	1.961
Portugal, Açores et Madère	1.839
Côtes occidentales de l'Afrique	1.321
Prusse	975
Pérou	1.179
Danemark	1.149
Hollande	711
Iles de la Manche	782
Turquie	671
Italie	660
Divers	17.721
Total	198.333
Valeur déclarée	11,490,000 fr.

Totaux des deux années précédentes.

ANNÉES.	QUANTITÉS.	VALEUR.
	q. m.	fr.
1857	224.415	13.738.075
1856	235.041	14.556.725

ÉTAIN.

D'après les relevés des fondeurs, il aurait été extrait, en 1858, tant du Devonshire que du comté de Cornouailles, 107.879 quintaux métriques de mineral, valant 16.776.425 fr. et ayant produit 70.307 quintaux métriques de métal (1), qui peuvent représenter 20.587.000 francs.

PRIX DU QUINTAL MÉTRIQUE.	MINERAI.	MÉTAL.
	fr.	fr.
Maximum.	188,50	317,60
Minimum.	71,90	268,00
Moyen.	156,80	295,70

— On possède des renseignements plus circonstanciés par le *Stannary court*, mais malheureusement ils concernent toujours une période annuelle commençant et finissant au 29 septembre. Quoi qu'il en soit, ces chiffres sont intéressants et nous croyons devoir les reproduire.

Production de l'étain en Angleterre du 29 novembre 1857 *au 29 septembre* 1858.

COMTÉS.	DISTRICTS.	Nombre de mines.	MINERAI. Quantités.	MINERAI. Valeur.	MÉTAL. Quantités.	MÉTAL. Valeur.
			q m.	fr.	q.m.	fr.
Cornwall. . .	Ouest.	25	30.577	4.788.296	»	»
	Centre.	67	55 969	8.727.715	»	»
	Est.	15	11.234	1.814.966	»	»
	Mines diverses	23	1.575	230.986	»	»
	Alluvions (*sic*).	3	1.287	196.245	»	»
	Totaux.	133	100.642	15.758.208	»	»
Devonshire		4	554	79.330	»	»
	Totaux GÉNÉRAUX. . . .	137	101.196	15.837.538	65.949	19.310.725

(1) En 1857, 99.395 q. m. de minerai et 66.873 de métal.

Importation d'étain en 1858 (*Comptes parlementaires*).

PAYS DE PROVENANCE.	MÉTAL.	MINERAI et régule.
	q. m.	
Villes Anséatiques	21	»
Hollande	21.318	»
Belgique	254	»
France	20	478
Espagne	65	»
Possessions anglaises de l'Afrique méridionale	39	»
Territoires anglais de l'Inde orientale (Singapore et Ceylan exclus)	4.805	»
Singapore	1.397	»
Chine	620	»
Nouvelles-Galles du Sud	»	51
Victoria (Australie)	»	3.586
Amérique du Nord anglaise	»	51
Id. Etats-Unis	280	10
Chili	203	»
Pérou	1.003	2.195
Divers	6	10
Totaux	30.021	6.381
— En 1857	27.513	14.092
Différence	—3.492	—7.171

Exportation d'étain métallique en 1858 (*Comptes parlementaires*).

PAYS DESTINATAIRES.	ORIGINE anglaise.	ORIGINE étrangère et coloniale.	TOTAUX.
	q. m.	q. m.	q. m.
France	6.071	493	6.564
Turquie	3.419	»	3.419
Etats-unis d'Amérique (ports de l'Atlantique)	3.354	1.816	5.170
Russie (ports du nord)	2.582	32	2.614
Espagne et Canaries	1.347	39	1.386
Italie	1.063	428	1.491
Villes Anséatiques	541	»	541
Hanovre	464	»	464
Syrie et Palestine	457	»	457
Hollande	406	»	406
Portugal, Açores et Madère	391	»	391
Brésil	368	»	368
Egypte	346	»	346
Valachie et Moldavie	311	»	311
Etablissements anglais en Australie	»	137	137
Prusse	»	24	24
Belgique	»	21	21
Divers	2.521	42	2.563
Totaux	23.641	3.032	26.673
— En 1857	22.220	»	»
Différence	1.421	»	»

ZINC.

L'examen attentif d'une grande variété de minerais de zinc et les renseignements obtenus des fondeurs semblent montrer que la teneur en métal du minerai n'est pas supérieure à 50 p. 100. La production du zinc a été, en 1858, de 70.104 quintaux métriques, représentant une valeur de 4.355.625 francs.

Le prix du quintal métrique de blende, sur le carreau de la mine, a varié, en 1858, de 3f,72 à 11f,69 et a pu être 7f,70 en moyenne.

	fr.
Prix maximum du quintal métrique de zinc. . . .	68,24
Prix minimum.	56,45
Prix moyen.	62,65

Production du minerai de zinc en 1858.

COMTÉS.	QUANTITÉS.	VALEUR.
	q. m.	fr.
Cornwall.	20.464	141.473
Devonshire.	3.987	30.628
Derbyshire.	12.196	82.500
Shropshire.	213	1.731
Cardiganshire.	16.373	64.967
Galles du Nord.	26.846	224.632
Cumberland et comtés voisins	8.646	42.534
Ile de Man	28.214	312.413
Irlande.	476	4.113
Royaume-Uni.	117.415	904.991
— 1857.	94.376	»
Différence.	23.139	»

Importations de zinc en 1858.

PAYS DE PROVENANCE.	MÉTAL.	CALAMINE.	OXYDE de zinc.
	q. m.	q. m.	q. m.
Norwége.	30	»	»
Danemark.	3.231	»	»
Prusse	94 874	»	»
Villes Anséatiques.	85.608	»	»
Hollande.	12.893	»	133
Belgique	41.229	»	1.737
France.	1.199	8.321	91
Espagne.	1 443	12.121	»
Possessions anglaises de l'Afrique méridionale.	71	»	»
Australie méridionale	10	»	»
Victoria (Australie	20	»	»
Etats-Unis d'Amérique (ports de l'Atlantique).	437	»	3.454
Totaux.	241.045	20.442	5.415

Exportation en zinc métallique pour 1858.

PAYS DESTINATAIRES.	ZINC D'ORIGINE anglaise.	ZINC D'ORIGINE étrangère.	TOTAUX.
	q. m.	q. m.	q. m.
Territoires anglais des Indes orientales . . .	24.951	26.398	51.349
Etablissements anglais en Australie.	5.527	1.701	7.228
Turquie	2.083	»	2.083
Etats-Unis d'Amérique (ports de l'Atlantique).	1.507	4.126	5.638
Cap de Bonne-Espérance.	1.310	»	1.310
Colonies anglaises de l'Amérique du Nord. .	617	376	993
France	509	»	509
Portugal, Açores et Madère	430	86	516
Egypte	373	»	373
Italie	320	41	361
Espagne et Canaries.	316	104	420
Brésil.	275	448	723
Valachie et Moldavie	231	202	433
Uruguay	202	»	202
Divers.	1.840	4.394	6.234
Totaux.	40.490	37.874	78.364

ARGENT.

Le prix moyen de l'argent pur, en 1858, était de 234f,50 par kilogramme (5 *shillings* 6 *deniers* par *once*).

Production de l'argent provenant des minerais extraits de la Grande-Bretagne pendant quatre années.

RÉGIONS.	1855	1856	1857
	q. m.	q. m.	q. m.
Angleterre.	131,99	144,57	125,20
Galles.	17,26	18,71	17,[illegible]3
Irlande	2,18	1,11	0,92
Ecosse.	1,48	1,59	1,26
Ile de Man	15,48	18,11	14,40
Totaux	168,39	184,09	159,21
Valeur (francs).	3.891.340	4.002.088	3.693.290

Année 1858.

COMTÉS.	QUANTITÉS.
	q. m.
Cornwal	[illegible] 55
Devonshire	[illegible] 01
Somersetshire	0,[illegible]9
Derbyshire	0,90 (*)
Yorkshire	0,50
Westmoreland	6,75
Cumberland	14,12
Durham et Northumberland	23,47
Total de l'Angleterre	128,10
[illegible]	0,98
[illegible]	12,33
[illegible]	0,09
[illegible]	0,95
[illegible]	0,40
[illegible]	0,95
[illegible]	5,64
[illegible]	0,13
[illegible]	21,47
[illegible]	14,10
[illegible]	1,46
[illegible]	4,31
[illegible]	0,10
[illegible] aise (**)	1,27
[illegible]	170,81
[illegible]	3 914.[illegible]25

NOTES.

(*) La quantité d'argent séparée du plomb dans les fabriques de céruse ne peut être exactement déterminée, mais il paraît que l'argent est séparé de la moitié à peu près du plomb livré par les fondeurs, suivant la proportion accusée par la comparaison des nombres relatifs au Derbyshire, dans ce tableau et dans celui de la page 557.

(**) Tous les nombres précédents sont relatifs aux quantités d'argent extraites du plomb produit dans les comtés correspondants — Ce dernier représente l'argent retiré du chlorure (81 quint. mét. du minerai, valant [illegible] francs) et du minerai arsenical (quantité inconnue, d'une valeur de [illegible] francs environ.)

[illegible] l'argent pendant les quatre mêmes années

	QUANTITÉS.				VALEUR DÉCLARÉE.			
[illegible]	[illegible]	1856	1857	1858	1855	1856	1857	1858
	q. m.	q. m.	q. m.	q. m.	fr.	fr.	fr.	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	14.874	31.557	13 547.200	8.510.800	7.298.350	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible] 372	559	3.342	»	49.775	79.500	[illegible]
[illegible]	[illegible]	»	»	3.749	»	»	»	[illegible]
[illegible]		»	»	610	»	»	»	[illegible]
[illegible]	»	[illegible]	[illegible]	102	»	»	25.800	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	2.377	»	84.250	42.125	44.125	»
[illegible]	[illegible]	[illegible]		»	339.375	»	»	[illegible]
[illegible]	[illegible]		[illegible]	[illegible]	116.500	»	»	[illegible]
[illegible]		[illegible]	»	»	»	249.000	»	[illegible]
[illegible]	[illegible]	»	»	»	»	»	»	»
[illegible]	[illegible]	[illegible]	41	762	2[illegible].675	22.550	3.7[illegible]0	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible] 181	40.12[illegible]	14.116.000	8.674.240	7.451.525	5.259.[illegible]

MINÉRAUX DIVERS.

Production en 1858.

ARSENIC.

SOURCES STATISTIQUES.	QUANTITÉS.	VALEUR.
	q. m.	fr.
Relevés faits par la *Stannary Court* (arsenic brut provenant du grillage des minerais d'étain) . . .	4.020	18.503
Autre relevé (pyrite arsenicale).	1.626	3.000
Totaux.	5.646	21.503

TUNGSTÈNE. — Pour mémoire. M. Hunt dit que, la préparation de l'oxyde de tungstène et du tungstate de soude se faisant dans un seul établissement, il n'a pas été possible d'obtenir de renseignements sur la production de ce minéral.

NICKEL. — 45 quintaux métriques de minerai valant 4.722 francs.

Minerai d'**URANE.** — 1 quintal métrique (au plus) valant 543 francs environ.

MANGANÈSE. — 14.224 quintaux métriques extraits dans le Devonshire. — C'est la première fois que ce minéral figure dans la statistique anglaise.

SPATH FLUOR. — 8.029 quintaux métriques valant 12.952 fr.

OXYDE DE FER (ocre, terre d'ombre, etc.) pour peinture.— Le Cornwall en a produit pour une somme de 17.588f,75, dont 88f,75 représentent la valeur de 49qm,04; le Devonshire en a fourni 671 quintaux métriques; on ne connaît pas la quantité extraite de l'île d'Anglesea. — Cette peinture a été employée, depuis plusieurs années, dans l'arsenal maritime royal et dans d'autres établissements du gouvernement; elle a été appliquée à des baraques de campement en bois ou en fer, et a récemment été utilisée comme enduit des chaudières de bâtiments à vapeur. Il est reconnu qu'elle résiste, mieux que toute autre, à l'action de l'hydrogène sulfuré.

PYRITES DE FER.

COMTÉS.	QUANTITÉS.	VALEUR.
	q. m.	fr.
Cornwall	107.178	248.093
Devonshire	2.788	2.438
Cumberland	13.305	19.070
Northumberland et Durham	36.271	37.500
Yorkshire	41.758	45.675
Lancashire	40.640	45.000
Galles du Nord	6.299	10.175
Galles du Sud	38.516	52.500
Irlande	732.333	1.467.400
ROYAUME-UNI	1.019.088	1.927.850.

SEL.

Il n'en est pas question dans la première partie du volume des *Mineral statistics* pour 1858; mais il figurera sans doute dans la seconde, qui, nous l'avons déjà dit, sera du reste spécialement relative aux matériaux de construction.

Il peut paraître intéressant de connaître, par quelques chiffres généraux, l'importance minérale qu'a actuellement le comté de Cornouailles. Voici, pour l'année finissant au 29 septembre 1858, les quantités et valeurs des minerais de toute sorte extraits de cette classique région de l'industrie souterraine, d'après les relevés faits par le *Stannary court*.

SUBSTANCES MINÉRALES.	QUANTITÉS.	VALEURS.
	q. m.	fr.
Cuivre	1.437.961	20.601.538
Zinc	13.934	100.903
Etain	100.568	15.758.208
Plomb	81.192	3.363.528
Fer	428.456	354.748
Pyrites de fer	107.011	247.718
Arsenic	4.020	18.503
Nickel	45	4.722
Minerai d'Urane	1	543
Spath fluor	531	980
Gossan	49	89
Total	»	40.450.480

Enfin voici, pour l'année 1858, les éléments du commerce minéralurgique de la Grande-Bretagne, obtenus en groupant, pour la production, tous les chiffres de détail précédemment mentionnés dans ce travail statistique; pour l'importation et l'exportation, les résultats des relevés du *Board of trade*.

Résumé de la production minéralurgique du Royaume-Uni en 1858.

SUBSTANCES MINÉRALES.	MINERAIS.		MÉTAUX.	
	Quantités.	Valeur.	Quantités.	Valeur.
	q. m.	fr.	q. m.	fr.
Fer	81.696.054	64.267.548	35.113.809	267.844.950
Cuivre	1.304.818	33.413.375	146.875	39.067.325
Plomb	973.903	34.268.150	693.967	37.225.125
Étain	107.879	16.776.425	70.307	20.587.000
Zinc	117.415	904.991	70.104	4.355.625
Argent	»	»	171	3.914.225
Pyrites	1.019.088	1.927.850	»	»
Manganèse	14.224	70.000	»	»
Ocre	»	30.525	»	»
Arsenic	5.646	21.508	»	»
Nickel	45	4.722	»	»
Minerai d'Urane	1	543	»	»
Minéraux et métaux divers	»	»	»	2.375.000
Totaux	»	151.685.632	»	375.369.250

Résumé de l'importation, étrangère et coloniale, de métaux pour le Royaume-Uni en 1858.

MÉTAUX.	QUANTITÉS.
	q. m.
Minerai de cuivre et régule	986.526
Cuivre brut ou en partie travaillé	65.423
Fer en barres, non travaillé	258.714
Acier brut	18.167
Plomb (saumons et feuilles)	153.652
Zinc	241.046
Étain en briques, lingots ou barres	30.149
Mercure	1.443

Résumé de l'exportation en métaux du Royaume-Uni en 1858.

MÉTAUX.	QUANTITÉS.	VALEUR déclarée.
PRODUITS D'ORIGINE ANGLAISE.		
	q. m.	fr.
Fonte en gueuses	3.661.918	27.527.950
Fonte moulée	794.746	20.523.000
Totaux	4.456.664	48.050.950
Fer en barres, boulons et tiges	6.667.713	130.596.000
Fil de fer	103.063	105.211.100
Fer travaillé de toute sorte	2.326.985	82.298 450
Totaux	9.097 761	318.105 550
Acier brut	165.086	14.494.525
Cuivre en briques et saumons	68.655	17.413.075
Cuivre en feuilles, clous, y compris ses alliages pour doublage	154.943	40.511 175
Cuivre travaillé de toute sorte	29.653	9.546.500
Airain de toute sorte	13.537	3.882.325
Totaux	266.788	71.353.225
Plomb	198 333	11.491.400
Etain brut	23.725	6.764.500
Etain en feuilles	»	33.779.825
Totaux	23.725	40.544.325
Total	»	404.039.975
PRODUITS D'ORIGINE ÉTRANGÈRE OU COLONIALE.		
Cuivre brut ou en partie travaillé	23.581	»
Etain en briques, lingots ou barres	3.045	»
Mercure	3.406	»

On trouve encore çà et là, dans les *Mineral statistics, etc.*, ainsi que nous l'avons annoncé, les renseignements suivants sur la production métallurgique de pays autres que la Grande-Bretagne.

AUTRICHE.

Production de plomb en 1857. (M. Hunt.)

PAYS.	QUANTITÉS.
	q. m.
Styrie	10
Carinthie	36.566
Illyrie	2.865
Tyrol	1.930
Bohême : Pilsen	91
— Kommotau	377
— Kuttenberg	20
— Przibram	26.116
Moravie et Silésie	10
Bukovine	61
Hongrie : Presbourg	8.860
— Grosswardein	3.942
Banat	396
Confins militaires (Banat et Servie)	285
Total	78.029

Production de l'étain en 1857. (M. Hunt.)

Bohême . . . . 427 q. m.

— Une note, publiée dans les *Annales des mines* (5ᵉ série, t. XIV, p. 323) par M. Callon, a fait connaître l'importance de l'industrie minérale de l'Autriche en 1855.

PRUSSE.

Production de plomb en 1857. (M. Hunt.)

PROVINCES.	MINERAIS PRÉPARÉS.	
	Quantités.	Valeur.
	q. m.	fr.
Siegen	107.919	2.079.097
Duren	188.184	3.972.866
Tarnowitz	9.631	592.850
Divers	3.028	46.620
Totaux	308.762	6.691.433

— On rencontre, du reste, tous les détails désirables sur l'industrie minérale de la Prusse, en 1858, dans le journal des mines de M. de Carnall (VII *Band*, 2 *Lieferung*); la complication des mesures prussiennes en rend la conversion en mesures décimales si laborieuse que le temps nous manque pour donner autre chose que cette indication.

BAVIÈRE.

Les *Annales du commerce extérieur* mentionnent, d'après un relevé officiel, pour la période annuelle 1858-59, l'état suivant de la production minéralurgique de ce royaume :

SUBSTANCES MINÉRALES	QUANTITÉS.	VALEURS.
	q. m.	fr.
Minerai de fer.	878.960	802.107
Fer en barres	293.302	10.748.534
Fonte en gueuses.	389.574	5.455.408
Ouvrages en fonte.	82.783	2.578.972
Tôle.	13.734	669.233
Fil de fer	7.390	436.504
Acier.	80	33.755
Vitriol	31.661	70.419
Total.	»	20.794.932

BELGIQUE.

Production du plomb. (M. Hunt.)

PROVINCES	1853	1854	1855
Namur.	9.114	31.679	25.684
Luxembourg.	»	254	81
Liége.	36.728	46.086	34.189
Totaux. . . .	45.842	78.019	59.954

ESPAGNE.

Production du plomb en 1858. (M. Hunt.)

Plomb métallique.	552.165	q. m.
Galène.	202.926	
Minerais.	27.605	
Minium et litharge.	1.382	

Production de l'étain en 1858. (M. Hunt.)

Minerai d'étain (vendu comme tel). . . .	137	q. m.
Etain métallique. *Id.*	920	

Production du zinc en 1858.

M. F. Coignet, dans le tome V (page 465) du *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, a fait connaître la quotité,

pour trois années récentes, de l'extraction de la calamine dans la province de Santander, dont l'importance à cet égard serait telle que les chiffres y relatifs peuvent être considérés comme représentant à peu près la production de l'Espagne entière. « Cependant, ajoute M. Coignet, dans peu d'années, les provinces de Biscaye, Guipuscoa et Asturies, viendront apporter un contingent assez fort à la production de minerai de zinc de la côte Cantabrique. »

POINTS DESTINATAIRES.	1856.	1857.	1858.
	q. m.	q. m.	q. m.
Anvers.	118.150	103.840	222.460
Rotterdam.	»	131.810	49.730
Swansea.	»	8.280	14.370
Espagne.	»	63.570	64.040
	118.150	307.500	350.600

Du port de Santander, — d'où s'expédient annuellement en Angleterre plusieurs milliers de tonnes de minerai de fer, — a été dirigée sur Swansea la plus grande partie du minerai de cuivre exporté de la même province (1856, 1.520 quintaux métriques; 1857, 6.830; 1858, 9.530).

LAMÉ FLEURY.

Note sur les changements de température produits par l'approfondissement et par l'extension des mines.

Par M. W. J. HENWOOD, F. R. S. (1).

(Extrait par M. DELESSE.)

Penzance, 11 mai, 1859.

Un grand nombre d'expériences ont été faites pour déterminer comment la température varie dans les mines lorsqu'on se transporte à différents niveaux (2); mais il n'est pas sans inté-

(1) *Note on the changes produced by the deepening and extension of Mines on the temperature at their precious bottoms.*

(2) M. Fox, *Cornwall geol. trans.*, II, p. 14, 19; III, 318; IV, p. 23; *Phil. trans.* (1830), p. 407; *Reports of the British Association*, VI (1838), p. 135, *and* (1858), p. 96; Dr. (now sir John) Forbes, *Cornwall geol. trans.*, II, p. 159; M. Moyle, *Cornwall geol. trans.*, II, p. 404; Dr. Bacham, *Cornwall geol. trans*, III, p. 150.

rêt de savoir ce que devient la température d'une mine quand elle augmente en profondeur et en étendue.

Dans le but d'engager à continuer des recherches que ma santé ne me permet plus de poursuivre, je vais faire connaître les températures de l'eau sortant des travaux les plus profonds entrepris sur deux filons à *East Wheal Crofty* en 1838, puis en 1840 aux mêmes niveaux, après qu'une partie de la mine avait été approfondie de 20 fathoms et l'autre de 30. Je donnerai également la température de l'eau au fond de la mine *Wheal Vor* à 240 fathoms de la surface en 1838, et à la même profondeur en 1859, après que, dans l'intervalle, les travaux avaient été considérablement allongés et approfondis.

Nom de la mine.	*Années.*	*Profondeur du point considéré.*			*Température.*
		fathoms.		fathoms.	
East Wheal Crofty, filon Longlose Eugène	1838	85			63°,5
	1840	85	la mine étant approfondie de	30	60°
	1840	115	*Id.*		64°
East Wheal Crofty, filon Reave. . .	1838	115			69°
	1840	115	la mine étant approfondie de	20	62
	1840	135	*Id.*		70°,75
Wheal Vor.	1838	240			80°,5 à 81°
	1859	240	la mine étant approfondie de	81	74°
	1859	321	*Id.*		91°

Quant à l'eau enlevée par les pompes à *Wheal Vor*, à 240 f., elle avait, à la sortie de la mine, une température de 69°; tandis qu'à 321 f., cette température s'élevait à 75°.

On sait depuis longtemps que la propagation de la chaleur venant de l'intérieur de la terre à sa surface, dépend non-seulement de la conductibilté des diverses roches, mais encore de leur composition et de leur structure; elle dépend en outre de la facilité avec laquelle ces roches se laissent pénétrer par l'eau ascendante et par la vapeur (1) En chaque point de la terre, il y a donc des modifications résultant d'influences locales et une distribution spéciale de température (2).

Maintenant les travaux de mines permettent une propagation plus facile à la chaleur qui est à l'intérieur de la terre; par suite la température doit nécessairement être modifiée dans leur voisinage, et elle tend à diminuer (3).

(1) Fox. *Cornwall geol. trans.*, II, p. 16.
(2) *Cornwall geol. trans.*, V, p. 406. — Thomson's *Records of genera science*, IV (1836), p. 193; *Reports of the British Association*, IV (1837), p. 38
(3) *Cornwall geol. trans.*, t. V, p. 395 et 409.



Le tableau précédent permet de bien apprécier le refroidissement qui résulte des travaux de mines, ainsi que les différences auxquelles peuvent quelquefois donner lieu des roches et des filons qui ont cependant les mêmes caractères et qui se trouve à de petites distances. Les deux filons de la mine *East Wheal Crofty* que nous avons considérés, et qui sont affectés d'une manière si différente par l'approfondissement sont, en effet, à une distance qui ne dépasse pas 150 fr.

Bien que l'extension des travaux dans la profondeur, refroidisse le point où se fait l'expérience, le fond de la mine conserve toujours une température supérieure à celle de ses parties basses; c'est donc une confirmation nouvelle de l'accroissement que subit la température, lorsqu'on pénètre à l'intérieur du globe.

Sur les gisements aurifères et platinifères de l'Orégon.

Par M. J.-V. THEVENET, docteur médecin (1).

L'Orégon est borné au sud par la Californie, au nord par les possessions anglaises, à l'est par les montagnes Rocheuses, à l'ouest par l'océan Pacifique. C'est-à-dire qu'il s'étend de 41° à 48° lat. nord environ, et de 111° à 124° longit. ouest du méridien de Greenwich. Le pays est couvert de bois de pins, de cèdres et de sapins. Il est traversé du nord au sud par la Sierra Nevada et sillonné de nombreuses rivières. Entre la Sierra Nevada et le Pacifique, toute la contrée est fort montagneuse; cependant on y rencontre de belles vallées et des plaines couvertes de gras pâturages; le sol est partout d'une grande fertilité.

Le climat est tempéré; ce n'est guère qu'en décembre que la neige commence à se montrer. Les brouillards, fort épais, y sont très-communs toute l'année.

Les mines d'or de l'Orégon (celles du moins qui sont connues et exploitées) sont situées sur le bord de la mer. L'or est mêlé au sable du rivage; il est en grains ou en paillettes d'une grande ténuité. Sa collecte est difficile, et avec les grossiers

(1) Lettre lue par M. Fournet à l'Académie impériale de Lyon, dans la séance du 29 mai 1860.

moyens employés par les mineurs, on ne parvient que difficilement à recueillir plus de la moitié du métal précieux que le sable contient. Indépendamment de l'or, les sables et les galets qui sont lavés par les mineurs renferment des grenats, des cornalines, des agates et quelques petits fragments d'une gemme fort dure et d'un beau vert. Ce sont probablement des débris d'émeraudes. De plus, on rencontre partout une plus ou moins grande quantité d'iridium, de platine et de rhodium. Dans certains endroits, on trouve presque autant d'iridium que d'or. Cet iridium est métallique, blanc, luisant, fort lourd (20 à 21), très-dur, et il ressemble à du sable un peu aplati ayant les angles arrondis par le frottement.

L'or disséminé dans le détritus de la plage provient d'une couche d'alluvion qui se rencontre tout le long de la côte. La mer, en brisant contre la falaise, la ronge peu à peu; la partie légère des débris est enlevée par les courants, de façon que les corps lourds s'enfouissent dans le sable. Quand la mer est agitée, ils descendent peu à peu jusqu'à ce qu'ils rencontrent la couche solide et profonde qui n'est pas bouleversée par le ressac. Du reste il suffit d'examiner avec soin la couche d'alluvion de laquelle je parle, pour être convaincu de la justesse de ce que j'avance. On y rencontre, mais beaucoup plus diffuses, toutes les substances pesantes que l'on trouve enfouies dans la grève.

On ne peut miner dans l'Orégon que depuis avril jusqu'à la la fin d'octobre. A cette époque, la brise NO cesse; les tempêtes commencent; les eaux qui pendant l'été n'arrivaient, même à haute mer, que loin de la falaise, viennent alors furieuses semer sur la côte des gerbes d'écume jaillissant à 60 mètres de haut. La lame s'engouffre dans les cavernes et dans les anfractuosités des rochers. L'océan Pacifique est furieux; c'est comme une bataille durant laquelle on entend partout et à chaque instant des détonations puissantes et sourdes comme celles du canon de gros calibre. Tous les travaux de l'été sont nivelés, et au printemps suivant on est obligé, pour retrouver la propriété de chaque mineur, de prendre des alignements d'après des jalons plantés à cet effet sur le haut de la falaise.

La plage aurifère s'étend depuis Crescent-City jusqu'à Umpquona. Crescent-City est sur la plage; c'est une méchante bourgade mal bâtie en planches, mal située, sans rade ni port. Au nord de Crescent-City, à 30 milles, est le renommé Gold-

Bluff (Bluff, prononcer *bleuf* pour falaise). Cette plage a été et restera riche. A chaque marée basse, après chaque tempête, le rivage est couvert d'une couche de sable noir composé de titanate de fer mêlé d'or. On ramasse soigneusement ce sable, on le transporte dans de grands réservoirs où il est brassé avec du mercure, puis on le lave sur des plans inclinés. Toujours en allant vers le nord, on rencontre Rogue-Rive (rivière des coquins). Il y a eu là des sables d'une richesse fabuleuse. J'y ai vu des mineurs ramasser de 30 à 90 grammes d'or par jour et par homme, en lavant sur des plans inclinés et en perdant au moins 1/3 du métal précieux. Jusque-là on trouve peu de platine et d'iridium.

Entre Rogue-Rive et Fort-Orford, la côte est moins riche et peu travaillée. Fort-Orford est une station militaire qui a pour but de contenir les Indiens. A 200 mètres au sud de ce fort, la plage a été extrêmement riche. On commence à trouver ici 15 p. 100 d'iridium sur la totalité du métal récolté.

Depuis Fort-Orford jusqu'au Cap-Blanco (ainsi nommé à cause de sa couleur), les sables ont été très-riches. Là, surtout, j'ai rencontré sur la plage une foule d'agates et de cornalines aux formes et aux couleurs les plus variées. Presque toutes ces pierres sont polies, et quelques-unes ayant la forme d'un cabochon semblent sortir des mains du lapidaire.

Depuis le Cap-Blanco, en allant toujours vers le nord, l'or commence à se montrer en parcelles plus petites, plus aplaties. On ne rencontre plus que rarement des grains arrondis.

A Coquille, les paillettes sont tellement légères que le moindre souffle les enlève, et entre les deux stations, on trouve environ 45 p. 100 d'iridium, avec 5 p. 100 de platine.

A Randorph, l'or change d'aspect, et sauf la couleur et le poids, on le prendrait pour du gros son de blé. Depuis ce point jusqu'à Cap-Arago, il est extrêmement léger et divisé en minces paillettes. Ce métal est mêlé à 70 p. 100 d'iridium et 12 p. 100 de platine.

De là, vers Umpquona, l'or est plus ténu encore; il ressemble à de la poussière dont on sent à peine le grain sous le doigt. Je n'ai pas pu me rendre compte exactement de la quantité de platine et d'iridium qu'on obtient sur cette partie de la côte, mais je suppose qu'il y a environ 60 p. 100 d'iridium et 6 ou 8 p. 100 de platine.

Il est à remarquer que depuis Crescent-City jusqu'à Ump-

quona, l'iridium et le platine ont partout la même apparence, la même forme ; les paillettes ont la même dimension. Cependant on m'a fait voir, comme une grande curiosité, une pépite d'iridium de la grosseur d'un grain de riz ; c'est la seule de cette taille qui ait été rencontrée. J'ai tamisé près de 25 kilogr. de paillettes d'iridium sans rien trouver qui eût le quart de cette taille. Le rhodium se présente partout sous la forme d'une poussière noirâtre, et il est toujours en petite quantité.

Il n'y a rien de fixe quant à la profondeur à laquelle on peut atteindre la couche aurifère, et de plus l'épaisseur de cette couche varie de quelques centimètres à plus d'un mètre. Tantôt elle est enfouie à 7 mètres sous le sol, tantôt on la découvre à la surface, tantôt sa masse est disséminée dans toute l'épaisseur de la grève. L'aspect du terrain ne peut rien faire préjuger de la quantité de l'or ou de la profondeur à laquelle on le rencontrera. Souvent la couche aurifère renferme des pièces de bois, des racines et toutes sortes de débris végétaux. J'ai vu des troncs d'arbres extrêmement curieux, l'une des extrémités étant parfaitement silicifiée et faisant feu au briquet, tandis que l'autre a conservé son état naturel dans toute son intégrité. Parfois une partie du ligneux pénètre dans le bois pétrifié, et alors il est transformé en lignite brûlant parfaitement bien. Je n'ai pas pu m'expliquer ce phénomène très-digne d'attention.

Presque partout la couche aurifère gît sur un lit de glaise d'un blanc bleuâtre ou verdâtre, ressemblant au kaolin. A son tour, cette glaise repose ordinairement sur la roche, tantôt schisteuse, tantôt granitique. Assez souvent une couche de glaise est intercalée entre deux couches aurifères. Enfin j'ai remarqué, mais rarement, une couche aurifère sous un lit de roche de $0^{m}.5$ à 1 mètre d'épaisseur.

Dans les parties du littoral où l'or se trouve à la surface, il arrive souvent que d'une année à l'autre, pendant l'hiver, or et sable ont été balayés par les courants, et tel mineur qui possédait un terrain riche se trouve dépouillé au profit d'un voisin.

Ce n'est pas seulement au pied de la falaise que l'or se rencontre, et un jour viendra où l'on fera des digues dans la mer, et là, on découvrira de grandes richesses. En effet, dans certains endroits, les mineurs ont travaillé en tirant au large autant qu'ils l'ont pu, et ils ont dû s'arrêter bien qu'ils vissent la

richesse des sables augmenter à mesure qu'ils s'éloignaient du rivage. D'ailleurs l'aspect de la plage, de la falaise et des roches qui garnissent les abords de la terre, suffit pour démontrer que le continent a été, depuis des siècles, rongé par la mer, et tous les jours on voit crouler quelque nouveau morceau de la côte.

Ce qui manque au mineur dans l'Orégon comme en Californie, c'est l'eau. On utilisera un jour la forte brise qui souffle tous les jours de neuf heures du matin à quatre heures du soir. Du reste, les moyens employés pour le lavage des sables ont été variés à l'infini. Mille machines ont été essayées avec plus ou moins de succès, et on en revient toujours aux plans inclinés portant des taquets en travers. La science consiste à régler convenablement la pente et le volume de l'eau selon la forme et le poids des paillettes que l'on doit récolter.

Sur les gîtes aurifères de la Nouvelle-Galles (Australie).

Par le R. W. B. CLARKE (1).

(Extrait d'une lettre à M. DELESSE.)

Saint-Leonhard, près Sydney, Nouvelle-Galles du Sud, 12 juin 1860.

Les montagnes neigeuses, depuis la source de la rivière Murrumbidgee jusqu'au mont Kosciusco, ont été explorées récemment, et on y a trouvé des gîtes aurifères. Le climat y est très-froid, car la hauteur est supérieure à 1,500 ou 2,000 mètres. Aux mines de Bendigo et de Castelmaine, la hauteur reste au contraire inférieure à 350 mètres. Dans la province Victoria, j'ai visité de nouveau les gîtes aurifères, et près du mont Alexandre, j'ai trouvé des schistes qui sont remplis de *graptolithes* et de *diplograpsus* dont plusieurs espèces sont nouvelles : par conséquent, il est bien certain que les filons de quartz aurifère à Bendigo et à Forest-Creek sont dans des couches appartenant au silurien inférieur et de même âge que celles de Llandeilo dans le pays de Galles. Ces couches sont recouvertes par un grès tertiaire et par d'autres dépôts qui appartiennent en partie au miocène, en partie au pliocène.

(1) Voir *Annales des mines*, 1850, t. XVII et XVIII, p. 475.

Nos montagnes de la Nouvelle-Galles sont d'ailleurs trop élevées pour être recouvertes par le *drift* ou terrain de transport.

Dans la Tasmanie (Terre de Van Diémen), les couches siluriennes sont cachées, excepté dans quelques places de très-petite étendue, et alors elle apparaissent sous le terrain carbonifère : ce dernier terrain est lui-même recouvert par un énorme développement de greenstone.

Dans quelques-uns de nos gîtes aurifères, l'or se trouve dans la pyrite de fer, et nous le séparons au moyen du mercure, mais c'est un procédé qui est généralement très-dispendieux.

Suppression du système atmosphérique sur la rampe de Saint-Germain.

Lorsque la compagnie de Saint-Germain résolut de prolonger les rails jusqu'à cette ville, desservie seulement par la station du Pecq, on fut conduit à admettre des inclinaisons inusitées jusqu'alors sur les chemins à locomotives. Le système atmosphérique faisait, à cette époque, beaucoup parler de lui en Angleterre ; la compagnie l'adopta, et le gouvernement, jugeant utile de faciliter cette application, accorda une subvention de 1.800.000 francs.

Une des conditions de ce concours financier était l'installation du nouveau système à partir de Nanterre. Mais l'administration s'abstint, à très-juste titre, d'insister pour l'exécution de cette clause. Il était parfaitement inutile de renouveler les expériences de Croydon et de Dalkey, d'autant mieux que sur des chemins à faibles rampes le système était évidemment jugé et condamné d'avance. C'est seulement sur les très-fortes rampes, inaccessibles aux locomotives, ou sur lesquelles leur effet utile est très-faible, qu'il importait de mettre le nouveau mode de traction à l'épreuve. Son application fut donc limitée à la section du Vésinet à Saint-Germain (1.800 mètres), sur laquelle l'inclinaison croît graduellement jusqu'à 0,035, limite atteinte sur 1 kilomètre de longueur.

Cette grande, mais coûteuse expérience, vient d'être close. Il n'y avait, effectivement, pas d'intérêt à la prolonger davantage ; elle n'aurait rien appris de plus. Elle est formellement contraire au système atmosphérique, au moins dans les conditions de cette application ; il ne peut en effet être comparé aux locomotives, ni pour l'économie, ni pour la facilité et la

régularité du service : — conclusion d'autant mieux établie que tous les détails de l'installation étaient très-bien conçus et très-bien exécutés.

En présence de ce résultat bien constaté, on ne pouvait exiger de la compagnie qu'elle conservât, sans aucune chance de progrès notable, sans aucun profit pour la science, un mode de traction onéreux. Elle a été, en conséquence, autorisée à substituer les locomotives au système atmosphérique.

La compagnie s'est empressée de profiter de la permission : depuis quelques semaines déjà, tout le matériel fixe a disparu, et il ne reste plus de traces de la belle expérience poursuivie pendant plus de quinze ans, et qui avait le privilége de secouer l'indifférence ordinaire du public français en matière technique. Elle méritait, au reste, d'être faite; et il ne faut même pas trop se hâter de déclarer le système condamné sans retour et sans restriction. La question changerait bien de face si on avait à sa disposition une source abondante et gratuite de travail moteur, et si à de fortes rampes se joignaient des courbes très-roides, obstacle si grave à l'emploi des locomotives qui doivent développer un grand effort de traction : — circonstances qui se présenteront assez souvent dans les montagnes.

La traction sur la rampe est faite actuellement par des machines ordinaires à marchandises (machines à cylindres intérieurs, à six roues couplées de $1^{m},50$ de diamètre); l'échange de la machine à roues libres ou mixte, et de la machine de rampe s'opère au dépôt du Vésinet.

La machine de rampe remonte facilement huit voitures et le fourgon.

Trois des huit voitures sont à frein. Il y a donc, y compris le fourgon, quatre freins sur neuf voitures, sans compter le frein du tender. Cela suffit et au delà pour éviter tout accident en cas de rupture d'attelage, système bien peu à craindre, d'ailleurs, dans les trains composés d'un si petit nombre de voitures.

COUCHE.

Sur les machines Engerth à huit roues couplées.

Les *Annales des mines* ont rendu compte de la transformation qu'a subie une des machines du réseau de l'Est à la suite de la discussion du type auquel elle appartenait (p. 141 et suiv. de ce volume).

Cette machine a marché sans interruption pendant un an; elle a été de la part des ingénieurs et des agents du matériel l'objet d'un examen incessant et minutieux. Il n'y a qu'une voix sur son compte.

A la suite de cette expérience concluante, s'il en fut, la compagnie de l'Est vient de déclarer la question tranchée et de décider l'application, *à toutes les machines Engerth qu'elle possède*, de la transformation décrite dans la note précitée.

Ces machines appartiennent toutes à la même variété, caractérisée par le porte-à-faux des points d'appui de la boîte à feu sur les prolongements des longerons du tender.

La transformation définitive, débarrassant la machine de toutes les pièces de l'accouplement, s'opère, comme on l'a déjà dit, dans des conditions beaucoup plus favorables, à tous égards, que pour la première, faite à titre de vérification préalable. Les détails seront au surplus publiés dans une des prochaines livraisons.

La dépense s'élèvera à peu près à 6.000 fr. par machine. On aura ainsi des machines beaucoup plus maniables, plus flexibles, beaucoup moins sujettes à dérailler, moins difficiles à remettre sur les rails, en cas d'accidents de ce genre; on aura plus d'adhérence et une répartition beaucoup meilleure; on ménagera les bandages et la voie.— Tous ces avantages pour 1/15 ou 1/20 du prix de la machine, ce n'est assurément pas trop cher.

Cette opération a été cependant attaquée dans un mémoire publié récemment par un ingénieur attaché autrefois au chemin de Saint-Germain, et aujourd'hui, si je ne me trompe, au chemin du Midi. Puisque l'expérience se faisait, cet ingénieur aurait pu s'enquérir des résultats et éviter ainsi à ses critiques le désagrément de venir se heurter contre les faits. — En présence de la détermination prise par la compagnie de l'Est, toute réponse sur le point capital est superflue.

Je m'arrêterai seulement à certains passages du mémoire dont il s'agit; aux uns, parce qu'ils sont de nature à donner par trop le change au lecteur; aux autres, parce qu'ils me fourniront l'occasion de présenter des remarques de quelque utilité.

I. « On ne doit regretter qu'à demi, » disait la note des *Annales*, « la cherté des bandages de qualité supérieure. Les » bandages de qualité médiocre sont aujourd'hui la seule sau» vegarde des rails ; *c'est seulement quand les bandages s'usent » et s'écrasent que le service du matériel reconnaît la nécessité » de limiter la charge des roues.* » — Suivait un exemple. L'auteur du mémoire, par un procédé de discussion heureusement peu usité, fait abstraction complète du membre de phrase souligné, ainsi que de ce qui précède et de ce qui suit cette phrase ; je me trouve ainsi, de par lui, avoir émis cette assertion, qu'il vaut mieux, pour les rails, avoir affaire à de mauvais bandages, lors même qu'on ne les remplace pas, à des bandages qui se déforment et s'écrasent, qu'à de bons bandages qui conservent intact leur profil normal ! L'auteur se ménage ainsi une facile réfutation ; mais qui donc réfute-t-il ?

II. « ... Il est constant, ajoutait la note des *Annales*, que l'ac» tion de huit roues solidaires, *dont les diamètres ne sont jamais » rigoureusement égaux, et procédant dès lors par glissements » continuels* sous des charges considérables, est pour la voie » une cause incessante de dégradation. »

« Nous nous demanderions, » dit à ce sujet le mémoire, « comment une machine à huit roues couplées peut produire, par » suite des différences de diamètre des roues, une altération » plus sérieuse de la voie que deux machines à six roues cou» plées; les différences de diamètre ne se produisent pas autre» ment que par la marche (1), *elles sont donc identiques !* » Et plus loin : « Leurs roues usent la voie de la même manière que » celles des autres machines à roues couplées. »

Ce qui revient à dire que l'auteur se demande en quoi l'égalité rigoureuse des diamètres est plus impossible à maintenir entre huit roues qu'entre six, entre six qu'entre quatre !

Cette égalité est, pour toutes les roues assujetties par leur accouplement à prendre une vitesse angulaire commune, la condition *sine quâ non* de l'absence des glissements. Huit roues, parfaitement égales en sortant du tour, cessent bientôt de l'être en service, par suite des usures différentes qu'entraînent l'inégalité des charges et le défaut d'homogénéité. Une fois l'égalité troublée par une roue, par une seule, les glissements interviennent, et le mal s'aggrave rapidement par ses

(1) Ceci, du moins, est incontestable : sans la marche, il n'y aurait pas d'usure !

propres effets; une machine *Engerth* à huit roues couplées devient bientôt un engin qui écrase et lime à la fois les rails. Si, au contraire (comme dans les machines de la rampe de Giovi par exemple), les huit roues couplées forment deux groupes indépendants, l'inégalité des diamètres peut impunément préexister ou s'établir d'un groupe à l'autre. Est-il besoin d'insister sur un point d'une telle évidence?

III. L'auteur remarque que la répartition d'une machine n'est pas la même en marche qu'au repos : « qu'à de très-faibles » vitesses, des machines peuvent être extrêmement instables; » que la machine *l'Antée* par exemple, était, à 15 kil., *d'une* » *instabilité effrayante.* »

Qu'est-ce que cela prouve? La note des *Annales* dit-elle que que la machine *l'Antée* fût ou ne fût pas stable? Ce qu'elle dit, et ce que je repète, c'est que la machine Engerth transformée est parfaitement stable à des vitesses de 25 kil. Voilà le fait avancé; il est facile à vérifier, et la machine *l'Antée* ne fait rien à l'affaire.

Au surplus, il s'agissait seulement pour l'auteur d'amener le nom de cette machine. On pourrait croire, en effet, qu'il part de son instabilité pour conclure que la machine de l'Est ne *peut pas* être stable? Mais point: car il prend soin de nous apprendre immédiatement après que ce même *Antée* est devenu stable, même à des vitesses « *trois fois plus fortes,* » par l'emploi des contre-poids. Eh bien alors! est-ce que les machines de l'Est n'ont pas, elles aussi, des contre-poids? Et puisque la machine *l'Antée* est devenue si stable *à 45 kilomètres*, est-il si étonnant que les machines de l'Est (auxquelles on n'en demande pas tant) soient stables à 25? C'est donc en vertu d'un privilége unique que « le poids en porte-à-faux » de la machine *l'Antée* n'est pas « *le libre jouet* des oscillations » ! (1)

(1) Les conditions sont exactement les mêmes dans cette machine et dans celle de l'Est quant au rapport de la longueur de la machine à l'écartement des essieux extrêmes:

	Antée.	Machine de l'Est.
Longueur de la machine (du fond antérieur des cylindres à l'arrière de la boîte à feu)	mèt. 6,30	mèt. 7,80
Écartement des essieux extrêmes	3,20	3,95
Rapport	1,97	1,97

Quant à l'influence de la marche sur la répartition, est-ce donc à dire qu'une bonne répartition statique ne soit pas une des conditions fondamentales de l'établissement d'une machine locomotive? Est-ce que, par hasard, les perturbations dues à la marche corrigeraient les écarts de la répartition statique (1)? Réaliser autant que possible l'uniformité au repos, et atténuer les diverses influences perturbatrices dues à la marche, n'est-ce pas le double but que se propose tout constructeur éclairé?

Citons encore :

« Il n'y a pas lieu de conclure que, parce que le poids (de la » machine) supporté, à l'état de repos par les essieux du ten- » der, est faible, il n'y a que des avantages à rendre l'indépen- » dance à la machine. *Car, dans l'état de mouvement, ce poids* » *devient considérable*, et si, malgré le concours de cet essieu, » la répartition du poids de la machine sur les essieux varie » quelque peu, elle varierait bien plus *vite* encore si le poids » en porte-à-faux était le *libre jouet* des oscillations verticales » et horizontales. »

Il est difficile de combattre plus directement sa propre thèse, que le fait l'auteur dans ce passage.

Comme on l'a vu, le premier essieu du tender est déjà très-chargé au repos. D'après la réglementation normale du Nord, cette charge est de $10^{t},9$ (tandis que le deuxième essieu de la machine ne porte que $9^{t},2$); en pratique, cette charge au repos dépassait même 13 tonnes dans la machine 172 de l'Est (p. 145 de ce volume).

Que sera-ce donc, cet essieu étant déjà surchargé avec un contingent insignifiant, au repos, du poids de la machine, si

---

(1) Sans entrer ici dans des détails connus de tous les ingénieurs, je rappellerai que, de toutes les forces qui modifient, en marche, la répartition statique, deux seulement agissent toujours dans le même sens pour la marche en avant : 1° la composante verticale de l'effort transmis par la bielle et 2° son égale et contraire, appliquée sur la glissière supérieure. — La première augmente la pression sur la roue motrice d'une quantité qui passe par 0, mais qui n'est jamais négative. — Quant aux perturbations (inertie des pièces du mécanisme, oscillations de la chaudière, *bosses* de la voie), elles agissent alternativement dans un sens et en sens contraire, augmentant et réduisant tour à tour la charge de chaque roue. — Voir : 1° Des contre-poids appliqués aux roues motrices des locomotives et des limites à leur assigner. Note. (*Annales des mines*, 5e série (1853), t. III, p. 427.) — 2° Des machines locomotives très-puissantes et à petite vitesse. Note. (*Annales des mines*, 5e série (1854), t. V, p. 343, note G.)

« dans l'état de mouvement ce poids devient considérable ! » cet essieu sera donc surchargé au delà de toute mesure ! et c'est bien en effet ce qui a lieu (non pas d'une manière permanente, mais périodiquement), comme le prouve l'écrasement si fréquent des bandages de la cinquième paire de roues. Sous l'action d'une pression même faible appliquée au bout des longerons en porte-à-faux du tender, ceux-ci se comportent comme le fléau d'une romaine dont le premier essieu du tender serait le couteau. C'est cet essieu qui est vraiment « le libre jouet » des oscillations de la chaudière. Pour chaque kilogramme appliqué par la boite à feu, sur les platines des longerons, *c'est-à-dire à $2^m,05$ de l'axe de l'essieu antérieur du tender*, celui-ci reçoit un surcroit de charge de $2^k,2$, tandis que l'essieu d'arrière, placé à $1^m,70$ du premier, est soulagé de $1^k,2$. Si par suite des oscillations de la chaudière, le surcroit de pression sur les platines atteint périodiquement 2 tonnes seulement, la surcharge du premier essieu du tender s'élève à $4^t,4$, et sa charge totale, dans la situation constatée sur la machine 172 de l'Est, à $17^t,5$! et ce sera bien autre chose encore si cet essieu vient à franchir en même temps une *bosse* de la voie !

Tels sont les effets si simples, si évidents, spéciaux au type à huit roues couplées, et que l'auteur du mémoire ne paraît pas avoir entrevus.

IV. « Quant au moyen proposé, ajoute le mémoire, il *s'appuie » sur un essai qui aurait été fait avec succès en pareille cir- » constance. C'est une grave erreur.* L'essai a été fait *contre » l'avis des ingénieurs*, et il a complétement échoué. C'était de » toutes les solutions la plus mauvaise. La critique l'a, du reste, » fort bien caractérisée ; elle n'en éprouvera nul regret. »

Ceci est très-rassurant ; mais je ne m'explique guère cette phrase à mots couverts ; et elle doit être tout à fait inintelligible pour les lecteurs du mémoire, qui ne seraient peut-être pas fâchés de savoir de quoi il est question.

D'abord, la note des *Annales ne s'appuie* que sur un seul essai : celui qui a été fait d'après ses indications, sur la ligne de l'Est. Quant à celui auquel on fait allusion, elle ne s'appuie nullement sur lui ; elle le mentionne, ce qui est bien différent, et cela d'une manière purement incidente. Il y a, dit-on, dans cette indication, « une grave erreur. »

Voyons. Est-il vrai que les quarante machines-tender à roues libres, et dix des machines-tender à quatre roues couplées du

Midi aient été transformées en machines à tender séparé, *et que les dix machines de la seconde catégorie aient reçu, à l'arrière, un contre-poids de 4.100 kil.?* Est-il vrai que ce mode de transformation soit jusqu'à présent le seul appliqué? La note des *Annales* dit-elle que ce remaniement ait donné, pour les machines du Midi, des résultats aussi favorables que l'opération appliquée aux machines essentiellement différentes dont elle s'occupait? Elle n'avait point à faire l'histoire des vicissitudes de ce matériel, au sujet duquel l'auteur nous apprend cette particularité curieuse, si elle est exacte, que dix machines mixtes ont été transformées à grands frais *contre l'avis des ingénieurs*. Où donc est cette « *grave erreur*, » discrètement relevée par le mémoire?

Puisque l'occasion s'en présente, je dirai, d'accord sur ce point avec l'auteur du mémoire, que la transformation des machines-tender mixtes du Midi les a rendues tolérables, mais rien de plus; elle n'en a pas fait de bonnes machines; l'inégalité des charges des roues couplées est encore trop grande, malgré le poids considérable du lest (1). Aussi se propose-t-on de faire subir à ces machines une refonte plus complète encore, en allongeant la chaudière de manière à mettre la boîte à feu en porte-à-faux. Ce qui, par parenthèse, les placera dans les conditions que le mémoire reproche aux machines Engerth transformées.

Si ces coûteux remaniements des machines du Midi ne prouvent pas plus contre la transformation des machines Engerth de l'Est, que les fâcheux débuts de la machine l'*Antée*, ils sont, je le reconnais très-volontiers, utiles à citer. C'est assurément un exemple instructif des dangers que présentent, en semblable matière, une excursion dans le domaine de la fantaisie ou l'extension d'un type au delà de ses limites raisonnables, et de ce que peut coûter le redressement tel quel d'une erreur. Heureu-

---

(1) Voici la répartition normale :

Avant.	$10^t,27$	
Milieu.	$12^t,00$	$32^t,30$
Arrière.	$10^t,03$	

Mais la disproportion, déjà beaucoup trop forte, des charges des deux paires de roues couplées est souvent fort aggravée en pratique. Ainsi M. l'ingénieur des mines Noblemaire, chargé du contrôle, a constaté sur une machine (n° 142) la répartition suivante :

Avant.	$11^t,20$	
Milieu.	$12^t,30$	$32^t,30$
Arrière.	$8^t,80$	

sement on en est quitte à meilleur marché avec les machines du système Engerth *perfectionné*.

« La réponse à ces vues, dit encore le mémoire, pourrait être » empruntée aux écrits et aux enseignements du professeur de » l'École des mines. »

Quand il s'agirait, non pas de faits, mais de « *vues*, » et quand j'aurais été conduit à changer d'avis, je n'aurais, en le déclarant, fait qu'user d'un droit et même remplir un devoir. Mais, devant une vague assertion, il m'est permis de dire que l'auteur n'a point attribué aux écrits dont il s'agit leur sens réel, et qu'il a été inexactement informé au sujet d'un Cours qui n'a point été publié.

V. Restent les critiques sommaires adressées à la machine Engerth en général, et auxquelles on reproche de reposer sur de simples appréciations.

« L'économie, disait la note des *Annales*, n'existe ni dans l'achat, ni dans l'entretien, tant s'en faut, ni dans la consommation. »

« Quant à la consommation, répond le mémoire, c'est une » *erreur manifeste*. L'avantage de la grande surface de chauffe » est, sous ce rapport, absolue : *le kilog. de combustible vapo-* » *rise* une quantité d'eau plus forte dans ces machines que » dans les autres. »

D'abord, quelles autres ?

Cette assertion si formelle doit sous-entendre des expériences prolongées, faites comparativement sur les divers types de machines, constatant, non la vaporisation brute, mais la vaporisation *effective*, et partant assez délicates. L'auteur aurait bien dû publier les résultats de ces expériences. Ils sont, à coup sûr, très-peu connus, et ils ne peuvent manquer d'être fort intéressants.

Je suis réduit, pour mon compte, aux observations et aux règles pratiques du service courant. Ce n'est pas précisément, d'ailleurs, de l'eau vaporisée qu'il s'agit, mais du résultat final, du travail produit.

Or voici quelles sont aujourd'hui, sur le réseau de l'Est, les charges brutes remorquées et les quantités de combustible allouées aux mécaniciens, dans les mêmes conditions de profil, bien entendu : 1° pour les machines Engerth ayant 196^{mq},40 de surface de chauffe ; 2° pour les machines à 6 roues provenant du Creuzot (série 0,250 à 0,265), ayant 124^{m},70 de surface de chauffe :

CHARGE TOTALE REMORQUÉE. Le wagon chargé à 5 tonnes est pris pour unité.	QUANTITÉ de combustible allouée (houille de Saarbrücke) par kilom. de train.	HOUILLE ALLOUÉE par unité de charge brute remorquée à 1 kilomètre
	kil.	kil.
Engerth. 60	23,00	0,383
6 roues couplées (série 0,250 à 0,265) 45	17,00	0,378

Ajoutons que la vitesse est de 20 à 30 kil. pour les machines Creuzot et de 20 à 25 kil. seulement pour les Engerth.

On voit, par cet exemple, de quel côté est « l'*erreur manifeste.* » Les machines Engerth ont assurément une faible consommation, mais elles ont cela de commun avec toutes les machines à grand foyer. Il n'est nullement nécessaire d'aller jusqu'aux dimensions énormes admises dans quelques-unes de ces machines pour recueillir complétement les avantages attachés à la grandeur de la surface de chauffe directe et à la grandeur de la surface de la grille. Les Engerth marchent d'ailleurs fréquemment, par le fait même de leur grande puissance, avec une charge incomplète, ce qui élève nécessairement la consommation rapportée au poids remorqué.

Quant aux « appréciations sur les prix d'achat et sur les frais d'entretien, » l'auteur les croit « déduites de renseignements » *aussi erronés* que ceux qui ont été fournis sur la consom- » mation. »

Je puis, après ce qui précède, admettre sans la moindre difficulté cette assimilation. On voit, en effet, ce qu'il faut penser des erreurs, « graves » ou « manifestes » découvertes par l'auteur. Au surplus, le but de la note des *Annales* n'était nullement de discuter le type primitif, mais seulement une variété qu'on avait si légèrement érigée en progrès. Je le répète: le principe de la machine Engerth *proprement dite* a du bon, et je crois lui avoir fait équitablement sa part. Mais le type qu'on en a déduit, sous prétexte d'amélioration, est un non sens; il aboutit invinciblement à la séparation pure et simple de la machine et du tender. L'auteur du mémoire confond constamment ces deux dispositions si distinctes; il les défend pour ainsi dire pêle-mêle, et répond aux critiques adressées à l'une comme si l'autre seule était en jeu.

COUCHE.

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME SEIZIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

CHIMIE.

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

CONSTRUCTION. — CHEMINS DE FER.

BULLETIN.

(2e semestre 1859.)

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME SEIZIÈME.

Fig. 10. Coupe horizontale, suivant le plan IK de la *fig.* 7.

a. Mur en pilots jointifs.
b. Rangées de pilots isolés, près du mur *a*.
c. Longrines qui réunissent les pilots isolés de la même rangée.
d. Longrine composée de trois poutres juxtaposées, formant le seuil des vannages.
e. Rangées de pilots isolés supportant le plancher de la prise d'eau dans la partie de la digue qui regarde l'usine.
f. Longrines réunissant les pilots *e* de la même rangée.
g. Excavation du sol remplie de bonne terre ou mieux d'argile.
h. Rangées de pilots isolés supportant le plancher de la prise d'eau dans la partie de la digue qui regarde l'étang.
i. Traverses réunissant les pilots isolés *h*.
k. Longrines réunissant les pilots isolés *h*.
l. Montants établis sur le seuil des vannages.
m. Poutre qui réunit à leur sommet les montants *l*.
n. Montants divers établis sur le radeau pour supporter le pont qui traverse la prise d'eau.
o. Poutres dont se composent les contre-forts de la prise d'eau.
p. Assemblage des montants du conduit d'eau avec les poutres des contre-forts.
q. Madriers qui forment les planchers et les cloisons du conduit d'eau.
r. Grosses pierres placées sur le plancher du côté qui regarde l'étang.
s. Plancher qui avance dans l'étang.
t. Grosses pierres disposées sur le plancher *s*.
u. Argile remplissant les vides du contre-fort.
v. Vannes qui fournissent l'eau aux conduits des roues hydrauliques.
v'. Vannes qui laissent écouler le trop-plein ou qui servent à vider l'étang.
x. Fortes tiges en bois servant pour manier les vannes.

Fig. 11, 12 et 13. Détails concernant l'établissement d'une prise d'eau et particulièrement le seuil des vannages. Les lettres ont la même signification que dans les *fig.* 7 à 10.

Fig. 14 et 15. Prise d'eau dans laquelle l'orifice pour vider l'étang se trouve au-dessous de la conduite qui amène l'eau aux roues; les contre-forts sont formés en partie par des cadres, en partie par des montants à contre-fiches; le terrain étant assez perméable, on a établi plusieurs murs à poutres jointives.

Fig. 16, 17 et 18. Prise d'eau dont le conduit forme un angle aigu, avec quelques dispositions analogues à celle de la prise précédente. La prise d'eau est disposée en vue d'une usine qu'on veut agrandir plus tard ; provisoirement une partie de la largeur des conduites d'eau est bouchée.

Fig. 19, 20 et 21. Prise d'eau d'une construction moderne.

EXPLICATION DES PLANCHES.

Fig. 5. Rhomboèdre de chaux carbonatée enveloppant un métastatique.

Fig. 6. Disthène mâclé enveloppant la staurotide, les deux cristaux étant orientés parallèlement à leur axe; la face M du disthène se confond de plus avec *o* de la staurotide.

Fig. 7. Staurotide enveloppant le disthène, les deux cristaux étant orientés parallèlement à leur axe; la face *o* de la staurotide est parallèle à M du disthène.

Fig. 8. Quartz *q* en cristaux bipyramidés implantés dans une émeraude *e*.

Fig. 9. Cuivre sulfuré enveloppant de petits cristaux de phillipsite.

Fig. 10. Quartz dans lequel l'accroissement successif est indiqué par des zones de chlorite *c*.

Fig. 11. Grenat *g* enveloppant du quartz grenu *q* auquel il a donné sa forme.

Fig. 12. Mica noirâtre *m* enveloppant le mica blanc *m'*.

Fig. 13. Mica blanc *m'* enveloppant le mica noirâtre *m*; les deux micas sont en cristaux et leurs axes sont orientés.

Fig. 14. Quartz hyalin *q* interposé entre de l'orthose *o* et affectant la forme de prismes rhombes très-allongés.

Fig. 15. Amphigène dans lequel une zone transparente *t* est enveloppée par deux zones opaques *o*.

Fig. 16. Rutile *r* orienté dans le fer oligiste *o*.

Fig. 17. Cristal d'ouralite coupé parallèlement à sa base et montrant un noyau d'augite enveloppé par l'hornblende.

Chacune des figures de cette planche a été, dans le cours du mémoire, l'objet d'une explication détaillée.

FIN DU TOME SEIZIÈME.

Paris. — Imprimé par E. Thunot et Cᵉ, rue Racine, 26.

BIBLIOGRAPHIE.

DEUXIÈME SEMESTRE DE 1859.

FRANCE.

Carte géologique de la Ville de Paris, publiée d'après les ordres de M. G. E. Haussmann, préfet de la Seine, conformément à la délibération du Conseil Municipal du 8 novembre 1857, et exécutée par M. Delesse, ingénieur des mines, inspecteur des carrières du département de la Seine. 2 feuilles grand monde; impression en lithochromie par Avril frères. Savy, libraire de la Société géologique, rue Bonaparte, n° 20, Paris. — Cette carte a été exécutée d'après un système nouveau. Elle fait connaître les terrains qui composent le sous-sol de la Ville de Paris. Elle donne, de plus, la forme et le relief de ces terrains au moyen de courbes de niveau. Elle représente la surface de la craie, de l'argile plastique, du calcaire grossier, des marnes supérieures au calcaire grossier, des sables moyens, du calcaire lacustre. Elle permet de déterminer avec précision les profondeurs auxquelles ces divers terrains seraient rencontrés dans des sondages ou dans des travaux souterrains.

Bourdais (J.). Traité pratique de la résistance des matériaux appliqués à la construction des ponts, des bâtiments et des machines. — Paris, 1859.

Instruction sur les bois de marine et leur application aux constructions navales, publiée par ordre du ministre de la marine. — Paris, 1859.

De la Blanchère (H.). L'art du photographe, comprenant les procédés complets sur papier et sur glace, négatifs et positifs. — Paris, 1859.

Meissas. Tables pour servir aux études et à l'exécution des chemins de fer. — Paris, 1860.

Arnoux (C.). De la nécessité d'apporter des économies dans la construction des chemins et des moyens de les obtenir. — Paris, 1860.

Portefeuille des conducteurs des ponts et chaussées et des garde-mines, 2e série. — Paris, 1859.

Recueil de machines, publié par le comité de mécanique de la société industrielle de Mulhouse; 1re livraison. — Mulhouse, 1860.

Situation de l'industrie houillère en France en 1859. — Paris, 1860.

Delafosse. Nouveau cours de minéralogie. Tome II. — Paris, 1860.

Milne Edwards. Histoire naturelle des corallaires ou polypes proprement dits. — Paris, 1860.

Serret (P.). Théorie nouvelle géométrique et mécanique des lignes à double courbure. — Paris, 1860.

Vincenot. Recherches géométriques sur le tracé des carrelages circulaires et la distribution des caissons sur les voûtes sphériques. — Metz, 1859.

Adhémar (J.). Révolutions de la mer de l'âge périodique, 2e édition, 2e volume. — Paris, 1860.

Bourguignat. Malacologie terrestre de l'île du château d'If. — Paris, 1860. — (Tiré à 100 exemplaires.)

Claparède (E.) et Lachmann (J.). Études sur les infusoires et les rhizopodes; 2e livraison. — Genève, 1860.

Milne Edwards (H.). Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée de l'homme et des animaux, faites à la Faculté des sciences de Paris. Tome V, 2e partie. — Paris, 1860.

Bouchard (L.). Traité des constructions rurales. — Paris, 1860.

Marcou (F.). Lettres sur les roches du Jura et leur description géographique dans les deux hémisphères; 2e livraison in-8.

De Fourcy (Eug.). Carte géologique du département du Loiret, dressée sur un report de la grande carte de France, dite de l'État-Major, en 4 feuilles, avec texte explicatif. In-8, 158 p. — Orléans.

De Fourcy (Eug.). Vade-mecum des herborisations parisiennes,

conduisant par la méthode dichotomique aux noms des plantes spontanées ou cultivées en grand dans un rayon de 30 lieues autour de Paris. In-18, 300 p. — Paris, Adr. Delahaye.

FLACHAT. (E.). De la traversée des Alpes par un chemin de fer. Développements ; étude du passage par le Simplon. 2e part., In-8, 88 p. — Neuilly, imp. Guiraudet.

Annuaire de la Société des anciens élèves des Écoles impériales d'arts et métiers, publié par le comité de la Société. 1859, 12e année. In-8, 272 p., cartes et planches. — Paris, imprimerie Chaix et Ce, 9, rue des Petits-Hôtels; lib. V. Dalmont.

BERTEAUT. Notice biographique sur M. de Montricher, ingénieur en chef du département des Bouches-du-Rhône, directeur des travaux du canal de Marseille. In-8, 62 p. — Marseille, imp. Barile.

Bulletin de la Société de géographie, rédigé sous la direction de la section de publication; par M. Alfred Maury, secrétaire général de la commission centrale, et V. A. Malte-Brun, secrétaire adjoint. 4e série, t. 19, semestre 1859. In-8, 466 p. et cartes. — Paris, imp. Martinet; lib. Arthus Bertrand. Prix des deux vol. 12 fr.

FERMOND. Note sur la transformation de la gomme du Sénégal en sucre sous l'influence seule de l'eau. — Paris, imp. Pillet fils aîné.

FERMOND. Recherches sur la sensibilité comparative des divers réactifs employés concurremment avec l'amidon pour déceler de minimes quantités d'iode dissous dans un liquide. In-8, 17 p. — Paris, imp. Pillet fils aîné.

FORDOS et GELIS. Note touchant une altération particulière du papier due à l'action, sur les cylindres sécheurs, du chlore restant dans la pâte ; moyens de prévenir cette altération. In-8, 11 p. — Paris, imp. Pillet fils aîné.

PERREY. Documents sur les tremblements de terre et les phénomènes volcaniques aux Moluques. (Supplément à la 1re partie.) In-8, 62 p. — Épinal, imp. Ve Gley.

STURM. Cours d'analyse de l'École polytechnique ; par M. Sturm, membre de l'institut, publié, d'après le vœu de l'auteur, par M. E. Prouhet, professeur de mathématiques. T. 2. In-8, XII-360 p. — Paris, imp. et lib. Mallet-Bachelier, 6 fr.

VÉE. De l'influence exercée par les progrès de l'analyse immédiate des végétaux sur le perfectionnement de la pharmacie.

[redacted]

Thèse présentée et soutenue devant l'École supérieure de pharmacie de Paris. In-8, 37 p. — Paris, imp. Malteste et Cᵉ.

Champion. Les inondations en France depuis le VIᵉ siècle jusqu'à nos jours. Recherches et documents contenant les relations contemporaines, les actes administratifs, les pièces officielles, etc., de toutes les époques; avec détails historiques sur les quais, ponts, digues, chaussées, levées, etc., suivis de tableaux synoptiques, par bassins, de l'hydrographie générale de la France, et d'un index bibliographique des ouvrages anciens et modernes, traitant de la matière, publiés, annotés et mis en ordre par M. Maurice Champion. T. I. In-8, XX-244 p., et documents et pièces justificatives, I-CCXLV p. — Paris, imp. Thunot et Cᵉ; lib. V. Dalmont (1858).

Du Temple. Cours de machines fait aux hommes de la 2ᵉ compagnie des mécaniciens; cours des ouvriers chauffeurs. Année 1859. In-4, 265 p., 13 pl. et légendes. — Brest, imprimerie Roger.

Gaultier de Claubry. Des allumettes chimiques et sans phosphore. In-8, 24 p.— Paris, imp. Martinet; lib. J. B. Baillière et fils.

Journal de conchyliologie, comprenant l'étude des animaux, des coquilles vivantes et des coquilles fossiles, publié sous la direction de MM. Fischer et Bernardi. T. VII, 1858-59. In-8, 422 p. et 15 pl. — Paris, imp. Tinterlin et Cᵉ; 19, rue Lepelletier.

Parandier et Duhamel. Détails sur la géographie physique et sur les nivellements de diverses parties du département du Doubs. In-8, 45 p. et 1 plan-carte. — Lyon, imp. Barret.

Raulin. Géographie girondine pour servir de complément à la statistique de la Gironde, de Jouannet. In-8, 79 p. —Bordeaux, imp. Gounouilhou; lib. Chaumas.

Dolivet. Nouveau manuel du métrage et du cubage des solides et des bois, contenant l'exposition du système légal des poids et mesures, les principes élémentaires de géométrie appliqués à la mesure des surfaces et aux volumes des corps, suivi des comptes faits pour mesurer les bois carrés et les bois en grume. In-12, 176 p.— Poitiers, imp. Dupré; Saintes, lib. Fontanier. 2 fr. 25 c.

Godard-Desmarest. Des effets de l'abondance de l'or sur les monnaies françaises. In-8, 28 p. — Paris, imp. Bonaventure et Ducessois; lib. Dentu.

[redacted]

JAMIN. Cours de physique de l'École polytechnique. T. II, illustré de 191 fig. dans le texte et de 3 planches sur acier. (Chaleur-Acoustique.) Grand in-8, XII-532 p. — Paris, imp. et lib. Mallet-Bachelier.

LANGLEBERT et CATALAN. Nouveau manuel des aspirants au baccalauréat ès sciences, complet, rédigé conformément au programme officiel de 1856; accompagné de 3 cartes géographiques, 8 planches gravées et 1200 gravures intercalées dans le texte. 8e édition. 7e partie, chimie.— Paris, imp. et lib. Delalain. 3 fr. 50 c.

ORTOLAN. Traité élémentaire des machines à vapeur marines, rédigé d'après le programme du concours pour les brevets de capitaine au long cours et des maîtres au cabotage; 3e édition, augmentée de notions générales sur la manœuvre des bâtiments à vapeur, accompagnée d'un atlas de 19 pl. gravées sur acier, de tableaux et de nombreuses figures dans le texte. Grand in-8, XV-474 p. et atlas in-4 oblong. — Paris, imp. Claye; lib. Lacroix et Baudry. 12 fr.

PLANCHARD. Catéchisme agricole, ou Traité élémentaire d'agriculture pratique, à l'usage des écoles primaires. Ouvrage couronné par le conseil général de la Corrèze. 3e édition, revue et augmentée; par Camille Planchard, juge de paix et président du comice agricole de Beaulieu, etc. In-12, XVI-324 p. — Limoges et Isle, imp. et lib. L. et E. Ardant frères.

ARMENGAUD (aîné). Publication industrielle des machines, outils et appareils les plus perfectionnés et les plus récents employés dans les différentes branches de l'industrie française et étrangère; par Armengaud aîné, ingénieur, etc. 3e édit., revue, corrigée et augmentée de nouvelles notices inédites. Texte. T. III. Grand in-8, 542 p. — Paris, imp. Claye; l'auteur, rue Saint-Sébastien, 45.

DUBOIS. Cours de navigation et d'hydrographie; par E. P. Dubois, ancien officier de marine, professeur d'hydrographie, chargé d'un cours d'astronomie et de navigation à l'École navale impériale. In-8, VIII-679 p, avec de nombreuses figures dans le texte et plusieurs planches gravées. — Paris, imp. Thunot et Ce; lib. Arthus-Bertrand. 10 fr.

DU MONCEL. Notice sur l'appareil d'induction électrique de Ruhmkorff, suivie d'un mémoire sur les courants induits; par le vicomte Th. du Moncel. 4e édition. In-8, XII-400 p. — Paris, imp. Claye; lib. Lacroix et Baudry. 7 fr.

[redacted]

LE VERRIER. Annales de l'Observatoire impérial de Paris, publiées par U. J. Le Verrier. Observations. T. II. In-4, LXXI-362 p. — Paris, imp. et lib. Mallet-Bachelier. 40 fr.

POGGIALE. Rapport fait à l'Académie impériale de médecine sur l'empoisonnement par le phosphore. In-8, 24 p. — Paris, imp. Martinet; lib. J. B. Baillière et fils.

BRUNEL. Biographie d'Aimé Bonpland; par Adolphe Brunel, docteur en médecine. In-8, 40 p. et portrait. — Paris, imp. Rignoux.

PÉCLET. Traité de la chaleur considérée dans ses applications; 4e édition, entièrement refondue. 2 vol. gr. in-8, VI-980 p. — Corbeil, imp. Crété; Paris, lib. V. Masson. 30 fr.

POUCHET. Recherches et expériences sur les animaux ressuscitants, faites au muséum d'histoire naturelle de Rouen. In-8, 95 p. et fig. intercalées dans le texte — Corbeil, imp. Crété; Paris, lib. J. B. Baillière et fils. 2 fr.

BRIOT et VACQUANT. Éléments de géométrie conformes aux programmes de l'enseignement dans les lycées. Application. 2e édit. In-8, VIII-274, p. et 9 pl. — Paris, imp. Lahure et Ce; lib. L. Hachette et Ce. 1860. 5 fr.

Bulletin de la Société de l'industrie minérale. 4e année. T. IV. 1859. In-8, 828 p. et pl. — Saint-Étienne, imp. Ve Théolier aîné; Paris, lib. Dalmont et Dunod.

POURIAU. Climatologie de la Saulsaie (Ain). Résumé de neuf années d'observations. In-8, 51 p. — Lyon, imp. Barret; lib. Leiber et Faraguet.

BERTHERAND. De l'influence du transport par les chemins de fer sur la santé des animaux destinés à la boucherie et à l'engraissement. Mémoire adressé à l'Académie impériale de médecine de Paris, le 12 février 1856; par le docteur Bertherand. In-8, 4 p. — Paris, imp. Allard.

BRETON et BEAU DE ROCHAS. Théorie mécanique des télégraphes sous-marins, Recherches sur les conditions de leur établissement. In-8, 76 p. et 9 pl. — Batignolles, imp. Hennuyer; Paris, lib. Dalmont et Dunod.

CHATEL. Notice sur les différents systèmes d'éclairage depuis les temps anciens jusqu'à nos jours. In-8, 33 p. et 34 pl. — Paris, imp. Tinterlin et Ce; l'auteur, 32, rue de Malte.

Chemin de fer du Bourbonnais; branche de Corbeil; projets de tracé; note en réponse au rapport de M. l'ingénieur en

chef de la compagnie concessionnaire. Octobre 1859. In-8, 50 p. et 1 carte. — Paris, imp. Bourdier et Cᵉ.

Clément. Mémoire sur les gisements cuprifères de Vieussan (Hérault), et sur les travaux de recherches auxquels ils ont donné lieu. In-4, 76 p. et 3 pl. — Marseille, imp. Vᵉ Marius Olive.

Dallemagne. Silicatisation appliquée à la conservation des monuments, d'après le système du professeur Fushs, inventeur; par Léon Dallemagne. In-8, 7 p. — Paris, imp. Donnaud.

Henry. Considérations historiques sur les eaux minérales de Montbrun; suivies de l'analyse des eaux. In-8, 8 p. — Avignon, imp. Jacquet.

Morin. Aide-mémoire de mécanique pratique. 4ᵉ édition. In-8, 518 p. et fig. — Paris, imp. Lahure et Cᵉ; lib. L. Hachette et Cᵉ.

Arago. Astronomie populaire; publié d'après son ordre sous la direction de M. J. A. Barral. T. III. Œuvre posthume. In-8. 639 p. — Paris, imp. Claye; lib. Gide. 7 fr. 50 c.

— Œuvres de François Arago, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, publiées d'après son ordre sous la direction de M. J. A. Barral. Mémoires scientifiques. T. II. In-8, VIII-756 p. — Paris, imp. Claye; lib. Gide; Leipzig, lib. Weigel. 7 fr. 50 c.

Pouillet. — Notions générales de physique et de météorologie, à l'usage de la jeunesse. 3ᵉ édition. In-18 jésus, VI-637 p. — Paris, imp. Lahure et Cᵉ; lib. L. Hachette et Cᵉ. 1860. 6 fr.

Fabré. Théorie des voûtes élastiques et dilatables d'une application spéciale aux arcs métalliques. In-8, 61 p. et une pl.— Paris, imp. Thunot et Cᵉ; lib. Dalmont et Dunod; Lacroix et Baudry.

Marès. Note sur les moyens propres à utiliser et à désinfecter les vinasses, provenant des distilleries de vin. In-8, 16 p. — Montpellier, imp. Grollier.

Midy. Table de logarithmes des nombres, disposée en forme de répertoire, à l'aide de laquelle on trouve sur le champ, et sans feuilleter la table le logarithme d'un nombre quelconque, de 1 à 100.000 et réciproquement. In-8, 24 p. — Saint-Quentin, imp. Moureau; Paris, lib. L. Hachette et Cᵉ.

Payen. Précis de chimie industrielle à l'usage, 1° des écoles d'art et manufactures et d'arts et métiers; 2° des écoles préparatoires aux professions industrielles; 3° des fabricants et des

agriculteurs. 4e édition, où l'on a introduit les derniers perfectionnements apportés aux applications de la chimie et plusieurs chapitres sur les industries nouvelles. T. II et dernier. In-8, 762 p. et atlas 4 p. et 37 pl. — Paris, imp. Lahure et Ce; lib. L. Hachette et Ce. L'ouvrage complet, 35 fr.

Question des fers. Décret du 17 octobre 1857. Réponse de la chambre du commerce des arrondissements de Valenciennes et d'Avesnes à la circulaire de M. le ministre de l'agriculture du commerce et des travaux publics, du 31 août 1859. In-8, 15 p. — Valenciennes, imp. Henry.

Nanquette. Exploitation, débit et estimation des bois. Cours fait à l'École impériale forestière. In-8, VIII-419 p. et 13 pl. — Nancy, imp. Ve Raybois et Ce; lib. Grimblot, Ve Raybois et Ce.

Tronquoy. L'industrie des résines et fabrication de l'essence de térébenthine. In-8, 24 pages. — Neuilly, imp. Guiraudet.

Briot. Éléments d'arithmétique, rédigés conformément aux programmes de l'enseignement scientifique dans les lycées; 5e édition, revue et corrigée. In-8, 212 p. — Paris, imp. Bonaventure et Ducessois; lib. Dezobry, E. Magdeleine et Ce. 3 fr.

Brun. Traité pratique des opérations sur le terrain, comprenant les tracés et les nivellements nécessaires à la construction des chemins de fer, routes et canaux. Grand in-8, 71 p. et 21 pl. — Batignolles, imp. Hennuyer; lib. Noblet, 20, rue Jacob. 1860.

Gasparin (de). Cours d'agriculture; 3e édition. T. Ier. In-8, 700 p. — Paris, imp. Pinard; lib. agricole de la Maison rustique.

Journal d'agriculture pratique, publié depuis 1850 sous la direction de M. J. A. Barral. Seconde partie du XIXe siècle. Nouvelle période, 23e année. T. II, 1859. In-8, 532 p. et gravures. — Paris, imp. Raçon et Ce; 26, rue Jacob.

Journal d'agriculture progressive, indicateur général des améliorations agricoles, publié sous la direction de M. Edm. Vianne et de M. J. Grandvoinnet. Nouvelle série. T. III. In-8, 596 p. T. IV. 1859, avec planches gravées sur acier et un grand nombre de gravures sur bois. In-8, 588 p. — Paris, imp. Chaix et Ce; nouvelle lib. agricole et horticole J. Louvier.

Kœppelin. Fabrication des tissus imprimés; 1re partie. Impression des étoffes de soie avec planches et échantillons. In-8, XII-135 p. et pl. Paris, imp. F. Didot frères, fils et Ce; lib. Lacroix et Baudry. 1860. 10 fr.

Portefeuille de John Cockerill. Description des machines construites dans les établissements de Seraing depuis leur fondation jusqu'à ce jour. 5e année, 1859. — Paris, E. Noblet,

Revue universelle des mines, de la métallurgie, des travaux publics, des sciences et des arts appliqués à l'Industrie, sous la direction de M. de Cuyper. 3e année 1859. — Paris, Noblet, libraire.

DUMONT (André). Carte géologique de l'Europe. — Paris, Noblet, libr.

BÈDE (E). De l'économie du combustible, ou exposé des principaux moyens usités ou proposés pour produire et employer économiquement la vapeur servant de force motrice. 1 vol. avec pl. — Paris, E. Noblet, libr.

GRATEAU (Éd.). Mémoire sur le procédé de la fabrication de l'acier fondu par le procédé Chenot. 1 vol. In-8, avec pl. — Paris, E. Noblet, lib.

BABINET. Études et lectures sur les sciences d'observations et leurs applications pratiques. In-12, sur papier fin. — Paris, Mallet-Bachelier, lib.

JULIEN (Stanislas), membre de l'Institut. Histoire et fabrication de la porcelaine chinoise; ouvrage traduit du chinois, accompagné de notes et additions par M. Alphonse Salvétat, chimiste à la manufacture impériale de porcelaine de Sèvres, et augmenté d'un Mémoire sur la porcelaine du Japon, traduit du japonais, par M. le docteur Hoffmann. Beau volume imprimé sur grand raisin fin glacé, avec 14 planches, figures gravées sur bois, et une carte de la Chine indiquant l'emplacement des manufactures de porcelaine anciennes et modernes. Grand in-8. — Paris, Mallet-Bachelier, lib.

LAPLACE. Exposition du système du monde, 6e édition, précédée de l'Éloge de l'auteur, par M. le baron Fourrier. In-4, papier fin, avec portrait. — Paris, Mallet-Bachelier, lib.

MARIELLE (C. P.). Répertoire de l'École impériale polytechnique, ou Renseignements sur les élèves qui ont fait partie de l'institution depuis l'époque de sa création, en 1794, avec indication de leur position connue, jusqu'en 1855 inclusivement, avec plusieurs tableaux et résumés statistiques. (Publié avec l'autorisation de S. Exc. le ministre de la guerre et dédié aux élèves de l'école.) Volume in-8 en tableaux. 1855. — Paris, Mallet-Bachelier, lib.

PONCELET. Rapport historique sur les machines et outils em-

[redacted]

ployés dans les manufactures. 2 vol. in-8 de plus de 500 p. chacun (tirage à part revu par l'auteur). — Paris, Mallet-Bachelier, lib.

SALVÉTAT (A.). Leçons de céramique, professée à l'École centrale des arts et manufactures, ou Technologie céramique, comprenant les notions de chimie, de technologie et de pyrotechnie applicables à la fabrication, à la synthèse, à l'analyse, à la décoration des poteries. 2 vol. in-18, avec 479 figures dans le texte. — Paris, Mallet-Bachelier, lib.

Annuaire nautique ou Éphémérides et Tables complètes pour 1862.

ANGLETERRE.

WELLS (A.). *Annual of...* Annuaires des découvertes scientifiques. In 8.

LARDNER. *Natural Philosophy...* Philosophie naturelle à l'usage des écoles. In-12.

SAM. NEWTON. *Element of...* Éléments de mécanique, 3e édition revue. In-8.

OWEN (R.). *Palæontology...* Essai systématique sur les espèces éteintes et sur leurs relations géologiques. In-8. — Black, à Édimbourg.

The Transactions... Mémoires de l'Institut des ingénieurs des mines du Nord de l'Angleterre, N. Wood, président. Tome VII. — A. Reid, à Newcastle.

LOWNDES (C.). *Engineer's Handbook...* Manuel de l'ingénieur. In-8.

FAIRBAIRN. *Useful...* Renseignements pratiques à l'usage des ingénieurs; 3e édition. In-8.

RIFLEY (J.) et DANA (C.). *The New American Cyclopedia...* Nouvelle encyclopédie américaine. Tome IX. In-8. — New-York.

DANA. *Manual of...* Manuel de minéralogie. In-8.

MITCHELL. *Popular...* Astronomie populaire. In-12. — New-York.

WHILDIN. *Memoranda...* Faits essentiels sur les résistances des matériaux de construction. In-8.— Washington.

FARADAY (M.). *A Course of...* Série de leçons sur les diverses

[redacted]

forces de la matière et les relations qui les lient. In-8. — Londres.

GRIFFITH (W.) et HENFREY (A.). *The Micrographic...* Dictionnaire micrographique : Guide pour l'étude de la structure intime des corps ; 2e édition avec 45 planches et 812 bois. — Londres.

GRIFIN (J.). *The Chemistry of...* Chimie des corps non métalliques et de leurs composés. — Londres, 1859.

Memoirs... Mémoires du service géologique de l'Inde anglaise Tomes I et II. — Calcutta, 1859.

Journal of the Academy of Natural... Journal de l'Académie des sciences naturelles de philadelphie, vol. IV.

PARKINSON. *Treatise on Optic...* Traité d'optique. — Cambridge.

DANA. *Synopsis of the Report on Zoophytes...* Résumé du rapport sur les zoophytes recueillis dans le voyage autour du monde exécuté par le capitaine C. Wilkes de la marine des États-Unis pendant les années 1838 à 1842. — New-Haven.

HALL and WHITNEY. *Jowa : Report on the geological*, etc. — Rapport sur la géologie de l'État Jowa, comprenant les recherches faites pendant une partie des années 1855, 1856, 1857, par M. J. Hall, géologue d'État, et par J.-D. Witney, chimiste et minéralogiste. — Jowa.

HITCHCOCK. *Ichnology of New England...* Ichnologie de la Nouvelle-Angleterre : rapport sur les grès de la vallée du Connecticut et spécialement sur les empreintes fossiles. 1 vol. in-4 avec planches. — Boston.

DARWIN (C.). *On the Origin of species...* Sur l'origine des espèces. 5e édition, Londres ; traduction allemande par le professeur H.-O. Bronn. — Stuttgart.

DAVIS (J. B.) and J. THURMAM. — *Crania Britannica...* Craniologie britannique, dessins et descriptions des crânes des indigènes des îles Britanniques. In-folio. — Londres.

Natural History Review and Quarterly... Revue d'histoire naturelle publiée par Harvey, Haughton, Hogan et Wright.— Londres.

STIMPSON (W.). *Notes on North-American...* Notes sur les crustacés du nord de l'Amérique.

ALLEMAGNE.

HARTIG (F.). *Die Steinkohlen...* Description géologique et chimique des gîtes houillers de la Saxe; publiée par ordre du ministre de l'intérieur; 3e partie. — Engelmann, à Leipzig.

KUGLER (F.). *Geschichte...* Histoire de l'architecture.— Ebner, à Stuttgart.

LORENZ (A.). *Tunnel Bau...* Traité de la construction des souterrains, avec atlas de 25 planches. — Vienne, Gérold.

SCHUBERT (F.). *Handbuch...* Manuel de construction agricole. In-8 avec de nombreuses figures dans le texte.—Bosselmann, à Berlin.

WEISBACH (J.). *Lehrbuch...* Traité de mécanique pratique à l'usage des ingénieurs. — Viewig et fils, à Brunswich.

Amtlicher Bericht... Rapport officiel sur la 33e réunion des naturalistes et des médecins allemands, à Bonn, en 1857; publié par NOGGERATH et KILIAS. In-4. — Weber, à Bonn.

PLATTNER (C. F.). (Ouvrage posthume complété par T. RICHTER.) *Vorlesungen uber...* Leçons de métallurgie générale. — Engelhardt, à Freiberg.

HARTMANN (C.). *Berg-und-hüttenmannischer Atlas...* Atlas des mines et usines métallurgiques; 4e livraison. — Voigt, à Weimar.

WEISBACH (J.). *Der Ingenieur...* L'ingénieur : recueil de tables, formules, etc., 2e édition revue et augmentée.— Brunswich, 1860.

DUBOYS-REYMOND (E.). *Untersuchungen...* Recherches sur l'électricité animale. Tome II. — Berlin, 1860.

MULLER (J.). *Grundriss...* Éléments de physique et de météorologie; 7e èdition augmentée. — Brunswich, Viewig et fils, 1860.

RAMMELSBERG (C.). *Handbuch...* Manuel de chimie minérale. — Leipzig, Engelmann, 1860.

ARGELANDER (F.). *Astronomische...* Observations astronomiques faites à l'observatoire de Bonn. Tome III. — Bonn, 1859.

LIEBIG (V.), POGGENDORF et WÖHLER. *Handwörterbuch...* Dic-

[redacted]

tionnaire de chimie pure et appliquée. Tome I[er]. — Brunswich, 1860, Wievig et fils.

LIMPRICHT (H.). *Lehrbuch*... Traité de chimie organique; 1[re] partie. — Schwelschhke et fils, Brunswich.

LEJEUNE-DIRICHLET. *Untersuchungen*... Recherches sur un problème d'hydrodynamique. In-4. — Göttingen.

ZEUNER (G.). *Grundzüge*... Principes de la théorie mécanique de la chaleur. — Freiberg.

FRESENIUS (B. R.). — *Anleitung zur*... Introduction à l'analyse qualitative, avec une préface, par J. Liebig. 10[e] éd. — Brunswick.

GUMBEL (C. W.). *Geognostsiche Karte*... Carte géologique du royaume de Bavière et des pays voisins. — Munich.

ANDRIESEN (A.). *Lehrbuch der unorganischen Chemie*... Manuel de chimie inorganique. In-8. — Brunswick.

BURMEISTER. (H.). *Zoologischer Hand-Atlas*... Atlas zoologique. 3[e] liv.

DOVE (H. W.). *Ueber die nicht periodischen*... Sur les changements de température non périodiques à la surface de la terre depuis 1729 jusqu'en 1855. In-4. — Berlin.

D'EICHWALD (E.), LETHAEA ROSSICA... Paléontologie de la Russie. Liv. V et VI. — Stuttgart.

Fortschritte der Physik im J. 1857. *Dargestellt von*... Progrès de la physique pendant l'année 1857 par la Société de physique de Berlin. 13[e] année.

GMELIN (L.). *Handbuch der Chemie*... Manuel de chimie continué par K. Kraut.

Handwoerterbuch der reinen und angewandten... Dictionnaire de chimie pure et appliquée par Liebig, Poggendorf et Wöhler, publié par H. Von Fehling.

VAN DER HOEVEN (J.). *Catalogus craniorum*... Catalogue des crânes des diverses nations. — Leyde.

KENNGOTT (A.). *Uebersicht der Resultate*... Compte rendu des recherches faites en minéralogie pendant 1858.

VON MIDDENDORF (A). *Sibirische Reise*... Voyage en Sibérie. In-4, avec atlas. — Saint-Pétersbourg.

SANDBERGER (F.). *Die Conchylien des Mainzer*... Les mollusques du bassin tertiaire de Mayence. — Wiesbaden.

VON TSCHUDI (F.). *Das Thierleben der Alpenwelt.* La vie animale dans les Alpes. — Leipzig.

ELSNER (L.). *Sach-Register zu den Chemisch-technischen*... Ré-

sumé des faits de chimie technologique de 1846 à 1859. — Berlin.

COTTA UND A. MÜLLER. *Gandstudien, oder Beiträge zur Kenntniss...* Étude des filons, ou documents pour la connaissance des filons métallifères, par B. Cotta et H. Müller. Tome III, liv. III, IV. In-8.

HARTIG (E.). *Untersuchungen über die...* Recherches sur la chaleur dégagée par la combustion des houilles de la Saxe.

HOFFMANN (R.). *Jahresbericht über die...* Compte rendu sur les progrès de la chimie agricole, ainsi que sur la chimie et la physiologie des plantes; 1re année, 1858-1859. — Berlin.

SCHEDEN (A.). *Praktische Anleitung zur Conservirung...* Procédé pour la conservation des bois. In-8, 2e édit. — Leipzig.

HERMANN KOPP et WILL (H.). *Jahresbericht über die Fortschritte der chemie...* Compte rendu annuel sur les progrès de la chimie et sur les sciences qui s'y rattachent; par Hermann Kopp et H. Will. Année 1858. — Giessen.

BACH (H.). *Geognost. Karte von Wurtemberg...* Carte géologique du Wurtemberg, de Bade et de Hohenzollern. Échelle 1 à 450.000. — Stuttgard.

BALLO (M. O.). *Einflus der atmospharischen Ebbe...* Influence des marées atmosphériques sur l'état du baromètre et sur la réfraction astronomique. — Kœnigsberg.

BEYRICH (E. G.), ROSE, ROTH (J.) und RUNGE (W.). *Geologische Karte von dem...* Carte géologique de la basse Silésie et des contrées voisines, dressée avec l'aide des travaux de M. de Carnall. — Berlin.

Briefe über A. von Humboldts... Lettres sur le Cosmos de Humboldt, par H. Girard. — Leipzig.

HARTUNG (G.). *Die Azoren in ihrer aeusseren...* Les Açores, leur description géologique et leurs fossiles; par H. C. Bronn.

HEER (H.). *Die tertiäre Flora der Schweiz...* La flore tertiaire de la Suisse.

KEPLER (F.). *Opera omnia ed...* Œuvres complètes de Kepler, publiées par C. Frisch. T. III. — Francfort.

VON MEYER (H.). *Zur Fauna der Vorwelt...* La faune de l'ancien monde. Reptiles des schistes lithographiques du Jura; 2e livraison. — Francfort.

MUHRY (A.). *Allgemeine Geographische...* Géographie météorologique, ou Recherches sur la représentation d'un système

météorologique en rapport avec les climats de la terre. — Leipzig.

VIEMTSCHIK (R.). *Ueber die directe Constructions-Methode...* Sur la méthode de construction directe des cristaux ayant un axe vertical d'après les angles de leurs arêtes. — Vienne.

VON RICHTHOFEN (F.). *Geognost. Bescheibung der Umgegend...* Description géologique des environs de Predazzo, Saint-Cassian et de la Seisser-Alpe dans le Tyrol méridional.—Gotha.

RŒMER (F.). *Silurische Fauna des Westlichen...* Faune silurienne du Tennessee occidental. Paléontologie. — Breslau.

SCHIEL (J.). *Anleitung zur...* Analyse organique et analyse des gaz.

SCHLOSSBERGER (J. E.). *Lehrbuch der organ. Chemie...* Manuel de chimie organique appliquée à la physiologie et à la pathologie.

SCHŒDLER (F.). *Das Buch der Natur...* Le livre de la nature comprenant la physique, l'astronomie, la chimie; 11[e] livraison. — Brunswich.

STAMMER (K.). *Lehrbuch der Physick...* Manuel de Physique.

STEINDACHNER (F.). *Beiträge zur Kenntniss...* Documents pour l'étude des poissons fossiles de l'Autriche. — Vienne.

UNGER (F.). *Die Pflanzen des alten Aegyptens...* Les plantes de l'ancienne Égypte. — Vienne.

Verhandlungen des naturhistorischen Vereins... Publications de la Société des sciences naturelles des bords du Rhin et de la Westphalie; 16[e] année. Publiées par C. O. Weber, à Bonn.

WEISS (F.). *Die Gesetze der...* Les lois de la formation des satellites; documents pour l'histoire de la terre. — Gotha.

WEISS (M.). *Variationen der Declination...* Variations de la déclination de l'aiguille aimantée qui ont été observées à Cracovie. — Vienne.

HARTMANN (C.). *Jahresbericht über die Fortschritte...* Compte rendu sur les progrès de l'art des mines, 1859, 1[re] année. 2 vol. in-8. — Leipzig.

HLUBEK (A.). *Verhaltungs-Regeln beim...* Règles pour la conduite de la vapeur.

Handbuch des practischen Photographie... Manuel de photographie pratique. — Berlin.

NORDLINGER (H.). *Die technischen Eigenschaften...* Les propriétés techniques du bois. — Stuttgart.

POGGENDORFF (P. A.). *Die Landwirthschaft in England...* L'agriculture en Angleterre, d'après un voyage de juillet à novembre 1856. — Leipzig.

PRESSEL (W.), KAUFFMANN (U. J.). *Der Bau des...* La construction du tunnel de Hauenstein.

Taschenbuch ingenieurs, Herausgeg... Aide-mémoire de l'ingénieur, publié par l'association des forges. In-12. — Berlin.

WAGNER (J. R.). *Hand-und Lehrbuch der Technologie...* Manuel pour l'étude de la technologie. T. III, in-8. — Leipzig.

STUDER (B.). *Geologie der...* Géologie de la Suisse. 2 vol. in-8. — Berne, 1851-53.

ITALIE.

COSTA. *Palæontologia...* Paléontologie du royaume de Naples; 3e partie. — Naples.

COSTA. *Fauna...* Faune du royaume de Naples.

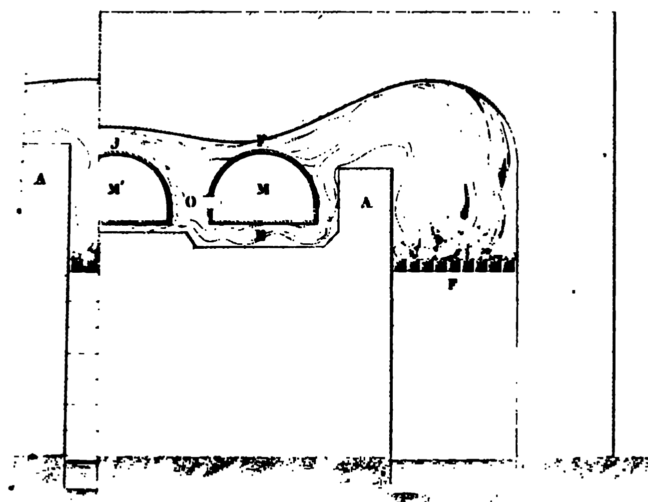
STOPPANI (A.). Paléontologie lombarde, ou description des fossiles de Lombardie.

DE LA MARMORA (L.). Itinéraire de l'île de Sardaigne. 2 vol. in-8 avec carte. — Turin, 1860.

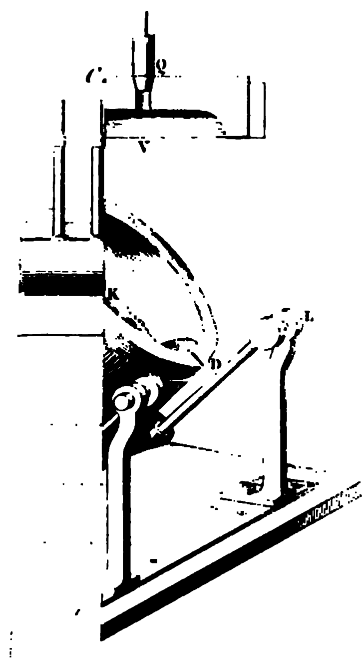
QUINTINO SELLA. *Teorica e pratica del regolo...* Théorie et pratique de la règle à calcul. — Turin, Imprimerie royale.



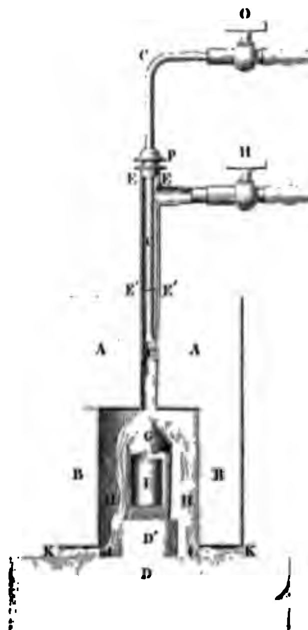
D. Fig. 4.



'. Fig. 9.

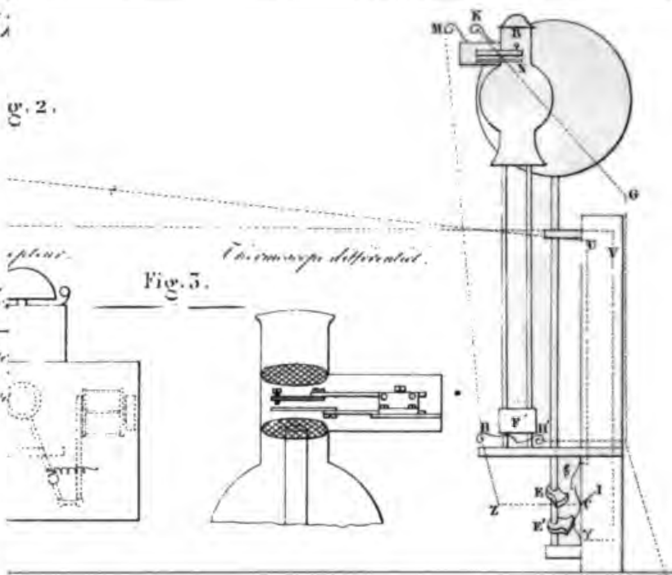


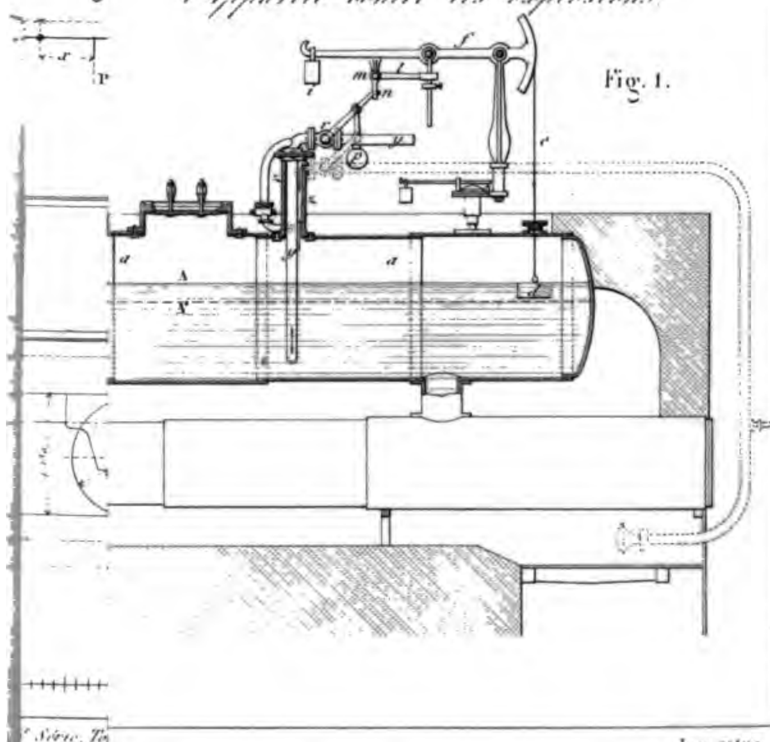
B. Fig. 10.





Pl. II.

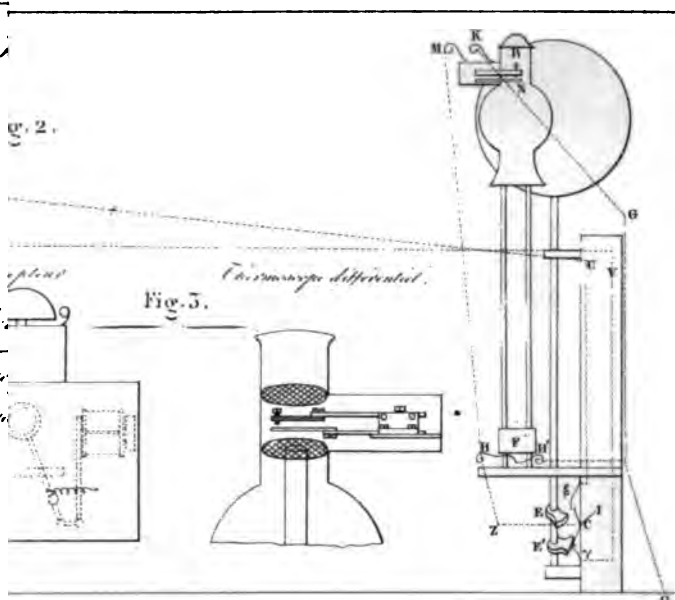


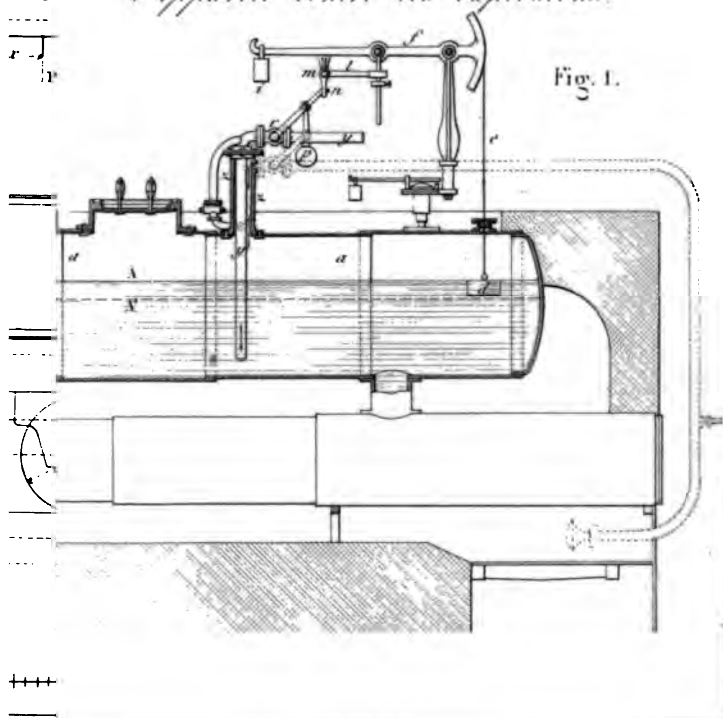


Lemaître sc.


THE NEW YORK
PUBLIC LIBRARY
ASTOR, LENOX AND
TILDEN FOUNDATIONS

Pl. II.





Lemaître sc.

Machine à laver les Houilles.

Mines de Brassac.

Fig. 10. Plan.

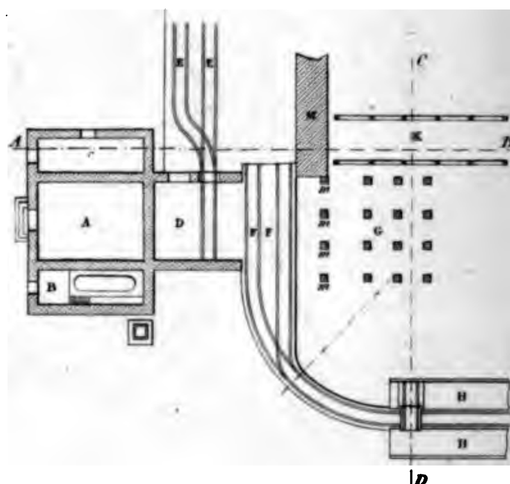
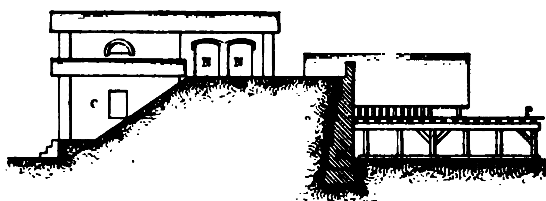
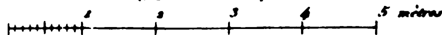


Fig. 12. Coupe suivant la ligne AB.



Echelle des Fig. 9 et 13 de 0.m02 pour 1 mèt.



Echelle des Fig. 10 à 12 de 0.m002 pour 1 mèt.



Lemaître sc.

achine à laver les Houilles.

Mines de Brassac.

Fig. 10. Plan.

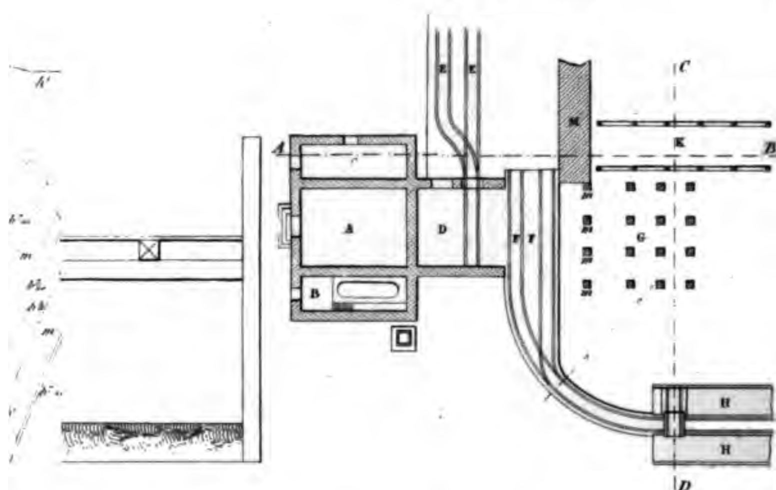
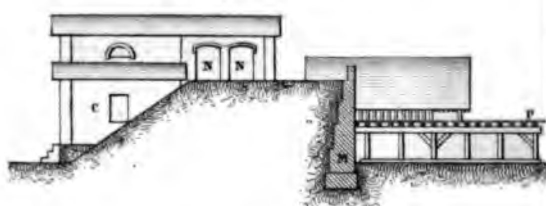
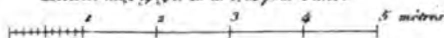


Fig. 12. Coupe suivant la ligne AB.



Echelle des Fig. 9 et 13 de 0m.01 pour 1 mèt.

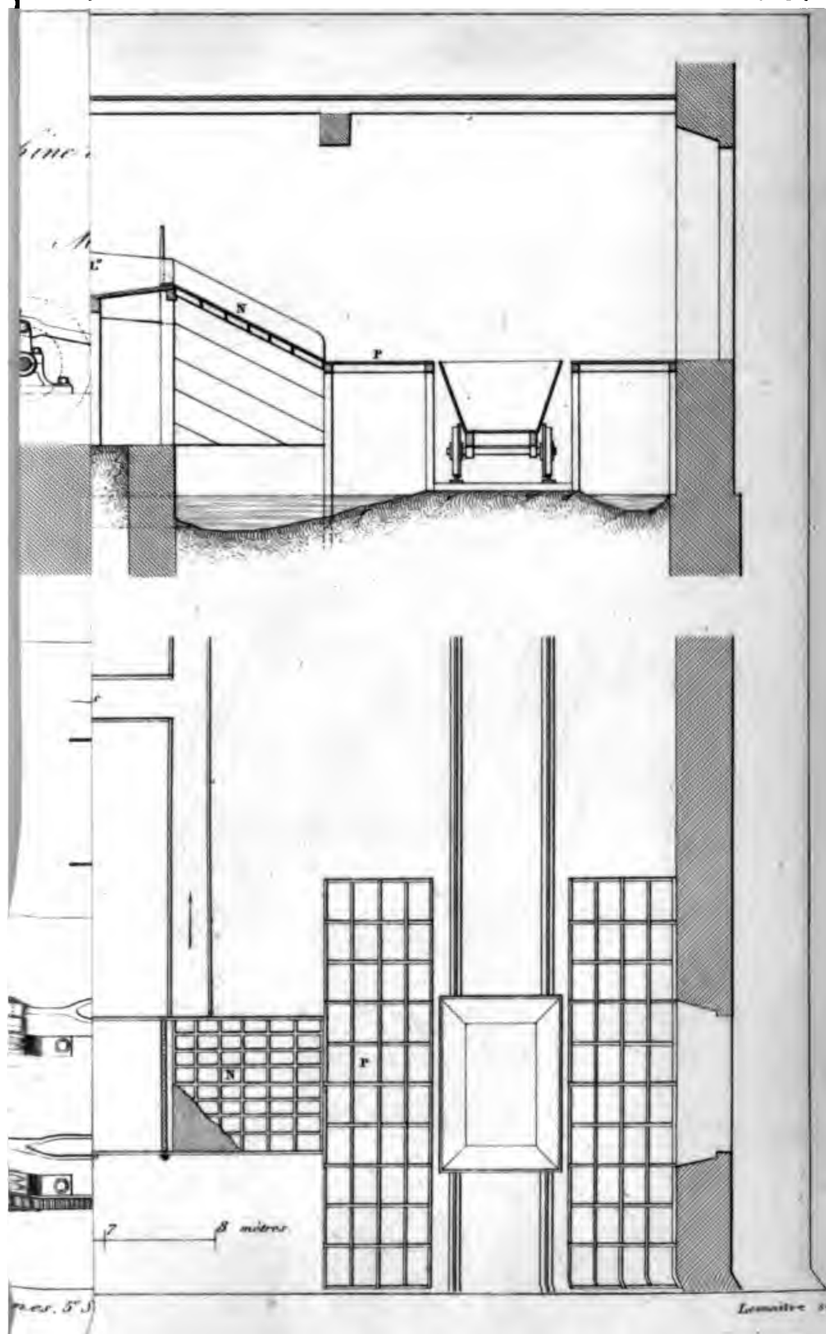


Echelle des Fig. 10 à 12 de 0m.002 pour 1 mèt.

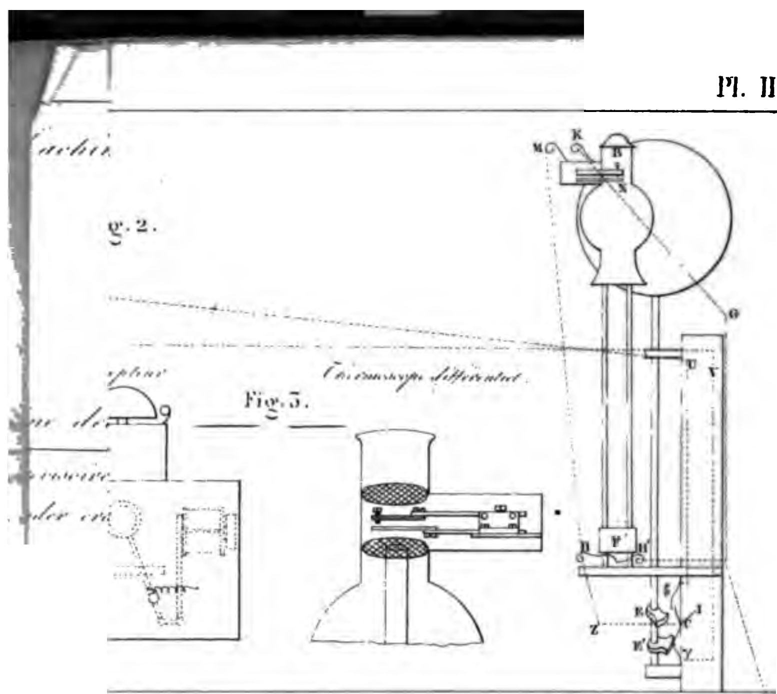


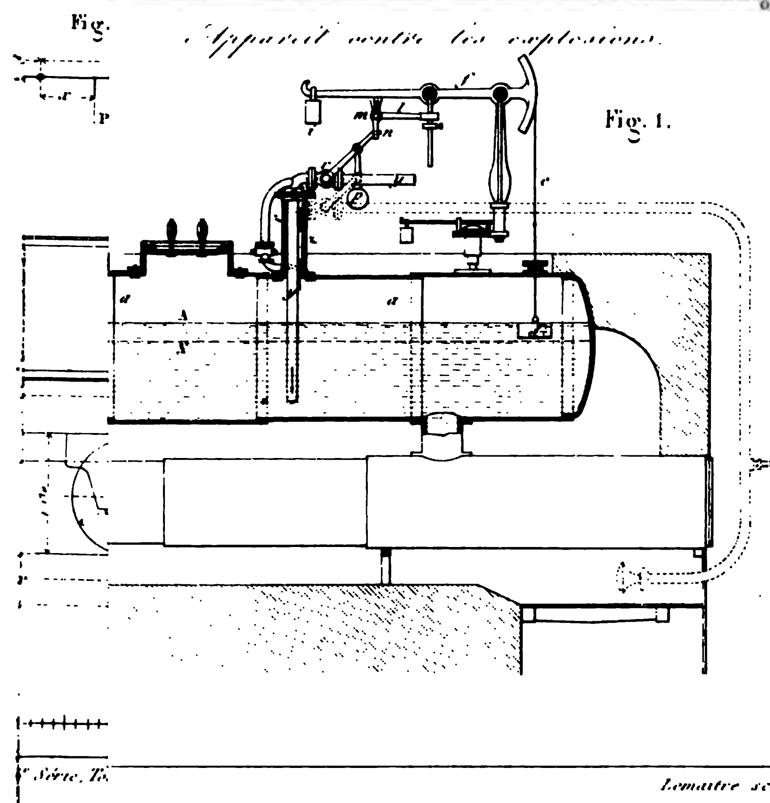
Lemaître sc.

Pl. IV.



Pl. II.





Lemaitre sc.



Fig. 10. Plan.

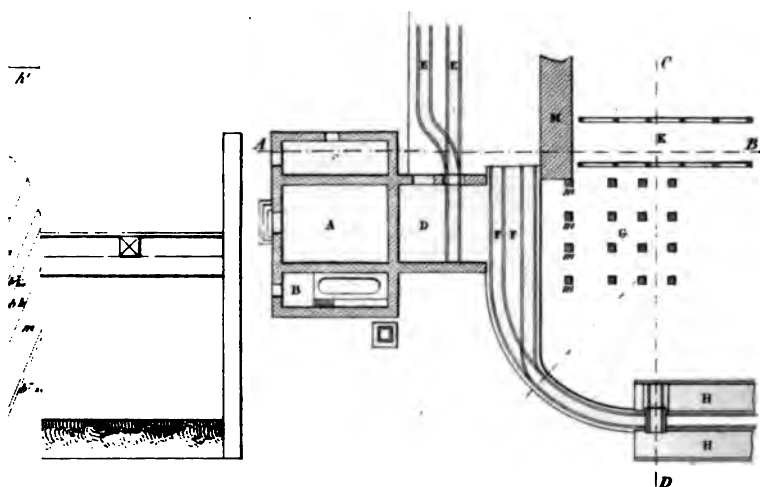


Fig. 12. Coupe suivant la ligne AB.

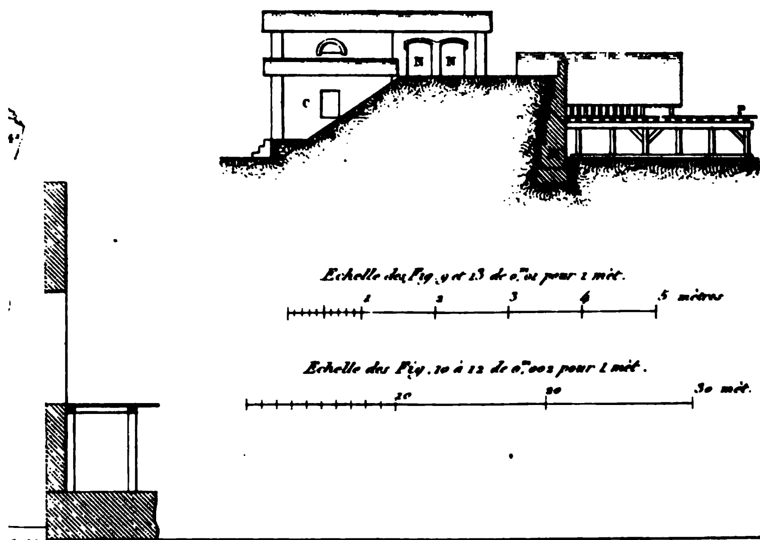


Fig. 14.

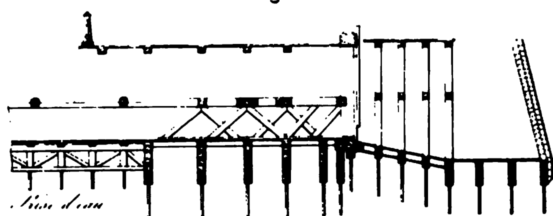


Fig. 15.

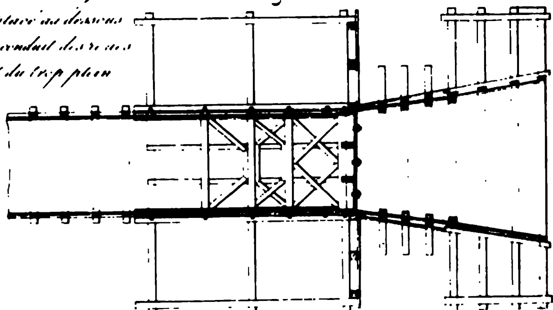


Fig. 21.

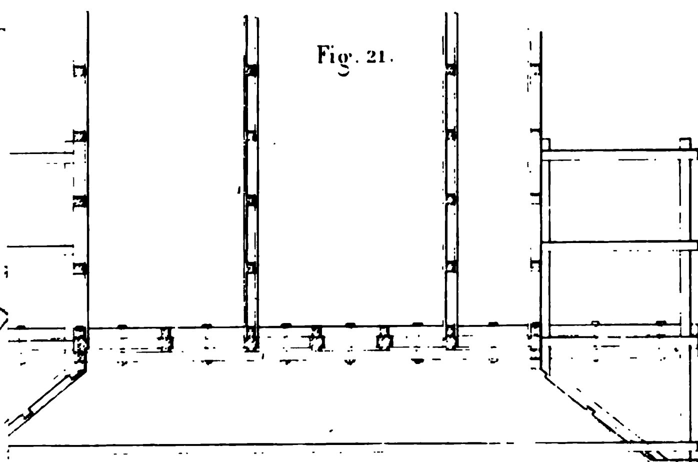
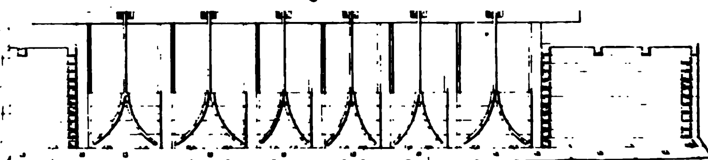
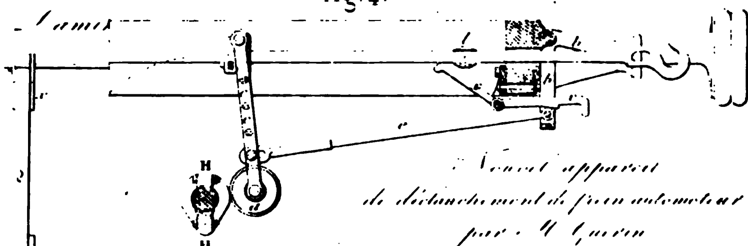


Fig. 19.



Lemaitre


Fig. 4.

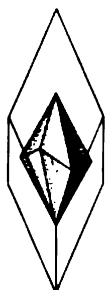

Fig. 5.


Fig. 6.

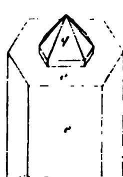
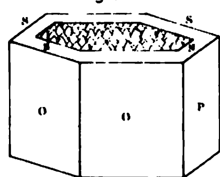

Fig. 8.


Fig. 12.

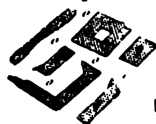



Fig. 10

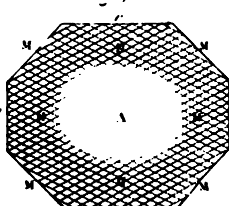

Fig. 11

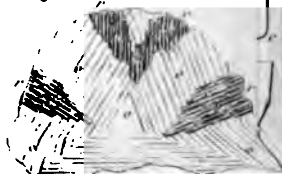

Fig. 9.




Fig. 14

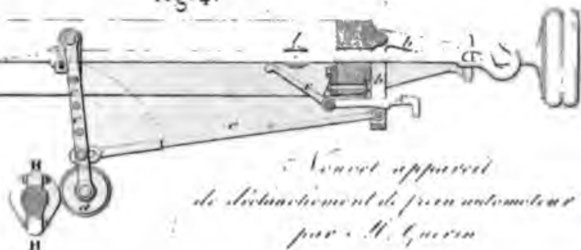



Fig. 17.


Fig. 16.

DE FER. Pl.

Fig. 4.



Nouvel appareil de détachement de frein automoteur par M. Guérin

Fig. 5.



Fig. 6.



Fig. 8.

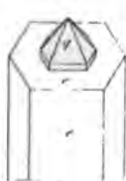


Fig. 12.



Fig. 7.

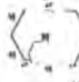


Fig. 10.



Fig. 11.



Fig. 9.

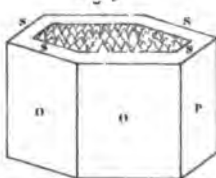


Fig. 14.







Fig. 17.

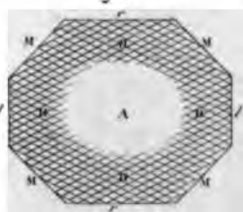
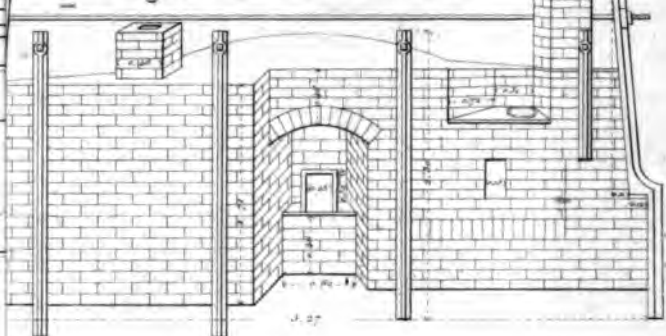
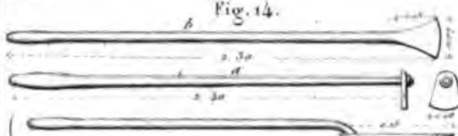


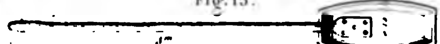
Fig. 16.

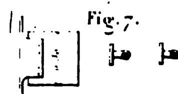


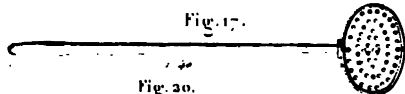
PI. VII.


Fig. 1.
Fig. 5. Vue d'une extrémité.

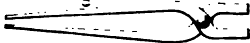

Fig. 14.
Fig. 15.

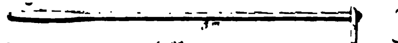



Fig. 7.


Fig. 17.




Fig. 20.


Fig. 8.

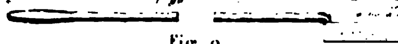
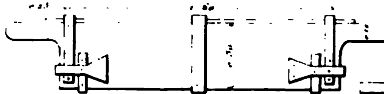
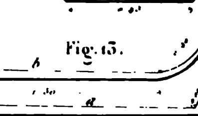
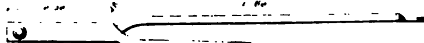
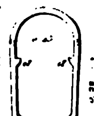

Fig. 9.


Fig. 11.
Fig. 21.

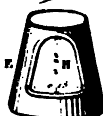

Fig. 10.

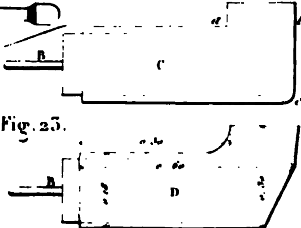

Fig. 13.


Fig. 12.








Fig. 23.













